



**Elisabete Oliveira  
Capelo**

**Evolução do setor adjacente ao quebra-mar  
destacado da Praia da Aguda**





**Elisabete Oliveira  
Capelo**

**Evolução do setor adjacente ao quebra-mar  
destacado da Praia da Aguda**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências do Mar e Zonas Costeiras, realizada sob a orientação científica do Doutor Paulo Baptista, Membro Integrado do Centro de Estudo do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro e da Doutora Cristina Bernardes, Professora Associada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.



"O homem é o único ser na Natureza que tem consciência de que vai morrer.  
Mesmo sabendo que tudo irá acabar, façamos da vida uma luta digna de um  
ser eterno."

Paulo Coelho em *Diário de um Mago*



## **o júri**

presidente

**Doutora Filomena Maria Cardoso Pedrosa Ferreira Martins**

Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Doutor Carlos Daniel Borges Coelho**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Doutor Paulo Renato Enes Baganha Baptista**

Investigador de Pós-Doutoramento, CESAM, Universidade de Aveiro

**Doutora Cristina Maria de Almeida Bernardes**

Professora Associada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro





## **agradecimentos**

A todos os que contribuíram para a realização deste trabalho o meu sincero agradecimento pelo apoio, dedicação, paciência e carinho.

Ao Dr. Paulo Baptista e Professora Cristina Bernardes, orientadores científicos do presente trabalho, quero agradecer pelos seus ensinamentos, apoio, disponibilidade e paciência durante todo este período.

Ao Dr. Jaime Prata pela disponibilidade, ajuda e cedência de dados relevantes para a realização desta tese.

Ao Dr. Joaquim Pais Barbosa pela disponibilização do mosaico de fotografias aéreas.

Aos meus pais e irmãos agradeço a educação que me proporcionaram e todo o carinho que me deram.

Aos meus sobrinhos, namorado e amigos pelo apoio, paciência, momentos de descontração causados e por estarem presentes nos bons e maus momentos.

Aos meus colegas, em especial à Daniela Santos, Daniel Duarte e Paulo Santos, pela compreensão e partilha de conhecimentos

A todos aqueles que diretamente ou indiretamente me apoiaram um muito obrigado!

“Quando você quer alguma coisa, todo o universo conspira para que você realize o seu desejo” *Paulo Coelho*



## palavras-chave

Quebra-mar, morfodinâmica, realimentação artificial, variações volumétricas, balanço sedimentar, Praia da Aguda.

## resumo

Nas últimas décadas foi feito um esforço no sentido de reagir aos impactos sociais e socioeconómicos negativos associados à dificuldade de acesso de barcos de pesca em zonas tradicionalmente piscatórias, através da construção de obras de engenharia costeira. A aposta em estruturas de proteção introduz alterações na morfodinâmica do meio onde são inseridas.

O objetivo deste estudo está relacionado com a análise dos impactos geomorfológicos, associados à construção do quebra-mar destacado da Praia da Aguda e medidas de mitigação entretanto adotadas, assim como o estudo da alteração da propagação da ondulação após a construção da obra. Para tal, foi estabelecido um programa de monitorização que se iniciou em 2001 e se estendeu até 2011, contemplando o período anterior e posterior à construção do quebra-mar, abrangendo um troço com cerca de 2 km de extensão. O levantamento de campo foi realizado segundo uma grelha de perfis transversais e longitudinais na praia subaérea, com recurso a DGPS (Differential Global Positioning System), através dos quais foram gerados Modelos Digitais do Terreno (MDTs) representativos do sector em estudo. Com o recurso à ferramenta *Surface Analysis* do ArcGis 10 foi calculado o volume sedimentar que permitiu obter o balanço de massa a barlamar e a sotamar do quebra-mar. No que diz respeito à análise da agitação marítima foram aplicadas fórmulas de cálculo empíricas a dados do Instituto Hidrográfico (IH).

Esta metodologia permitiu quantificar o balanço de massa e verificar que este é positivo no total do período analisado, sendo que os setores a barlamar do quebra-mar possuem uma capacidade de retenção superior à dos setores a sotamar. Verifica-se também, que dentro da zona de sombra do quebra-mar existe um efeito de difração da ondulação que leva a uma diminuição da altura de onda neste local quando a direção da ondulação é NW (direção predominante).



**keywords**

Breakwater, morphodynamics, artificial sand nourishment, volumetric variations, Sediment Budgets, Aguda beach.

**abstract**

In the last decades was made an effort to respond to negative social and socio-economic impacts that are associated with the access difficulty of fishing boats to traditional fishing areas, through the construction of coastal engineering structures. The investment on protective structures introduces changes in the morphodynamics of the environment where they are inserted.

The aim of this study is related to the analysis of geomorphological impacts associated with the construction of the detached breakwater in the Aguda beach, and mitigation measures adopted in the meantime as well as the study of the alterations on curling propagation after the construction of the breakwater. To this end, it was established a monitoring program that began in 2001 and lasted until 2011, covering the period before and after the construction of the breakwater, covering a stretch of about 2 km long. The field survey was carried out according to a grid of transverse and longitudinal profiles in subaerial beach, using DGPS (Differential Global Positioning System), whereby the Digital Terrain Models (DTMs) representing the sector under study were generated. With the use of Surface Analysis tool of ArcGis 10 the sediment volume which allows obtaining the sediment budget at the breakwater's updrift and downdrift was calculated. Regarding to the analyses of wave climate, it was applied empirical calculation formulas to the data obtained from IH.

This methodology allows quantifying the sediment budget and verifying that it is positive in all of the analysed period, with the updrift sectors of the breakwater having a higher retention capacity than the one of the downdrift sectors. It is also verified that, within the shadow of breakwater, an effect of curling diffraction occur which leads to a decreasing wave height at this location when the direction of the curling is NW (predominant direction).



## Índice geral

Índice geral .....	xv
Índice de figuras .....	xvii
Índice de tabelas .....	xix
Lista de abreviaturas .....	xxi
Lista de símbolos .....	xxiii
Capítulo 1. Introdução .....	1
1.1. Motivação e objetivos .....	1
1.2. Estado da arte .....	2
1.3. Estrutura da tese .....	4
Capítulo 2. Caracterização e evolução da zona de estudo .....	5
2.1. Características naturais .....	5
2.1.1. Localização e enquadramento .....	5
2.1.2. Enquadramento geológico e geomorfológico .....	6
2.1.3. Enquadramento oceanográfico .....	7
2.1.3.1. Agitação marítima .....	7
2.1.3.2. Maré .....	8
2.1.3.3. Temporais .....	8
2.2. Ações antropogénicas - O quebra-mar destacado da Aguda .....	9
2.2.1. Historial .....	9
2.2.2. Localização e forma do quebra-mar .....	10
2.2.3. A obra – Execução e manutenção .....	12
2.2.4. Realimentação artificial (transferência de sedimentos) .....	15
Capítulo 3. Metodologia .....	19
3.1. Agitação marítima .....	19
3.2. Topografia de praia .....	23
3.3. Processamento de dados .....	25
3.4. Modelo digitais do terreno (MDT) .....	25
3.5. Cálculo de áreas e volumes .....	25
3.6. Balanço sedimentar .....	27
Capítulo 4. Resultados e discussão .....	29
4.1. Agitação marítima .....	29
4.1.1. Rumos dominantes .....	29
4.1.2. Altura significativa e períodos de onda .....	30
4.1.3. Temporais .....	38
4.1.4. Alteração da agitação na propagação em direção à costa .....	39
4.2. Evolução temporal dos volumes de praia .....	42

4.2.1. Análise da extensão total de praia.....	42
4.2.2. Análise por setores .....	46
4.2.3. Balanço sedimentar.....	55
Capítulo 5. Considerações finais .....	61
Referências bibliográficas .....	65



## Índice de figuras

Figura 1 - Localização das praias da Aguda e Granja. Imagem aérea do troço costeiro antes da construção do quebra-mar em 1995 (A) e depois da construção do mesmo em 2005 (B) (Granja <i>et al.</i> , 2011).....	5
Figura 2 - Praia da Aguda, substrato rochoso de natureza metamórfica .....	6
Figura 3 – Reabilitação do cordão dunar da Praia da Aguda N .....	7
Figura 4 - Placa informativa da obra (Prata, 2008).....	10
Figura 5 - Hipóteses em discussão para a localização do quebra-mar da Aguda (Prata, 2008 adaptado de IHRH, 1999).....	11
Figura 6 - Localização proposta pelos pescadores através da colocação de boias (A) e localização final do quebra-mar (B) (IHRH, 1999).....	12
Figura 7 - Perfil transversal do quebra-mar da Aguda (INAG, 2002).....	13
Figura 8 - Construção do quebra-mar destacado (INAG, 2002).....	13
Figura 9 – Remoção do esporão construtivo no finalizar da construção da estrutura (Prata, 2008).....	13
Figura 10 - Fotografia aérea da Praia da Aguda em 2001 antes da construção do quebra-mar (à esquerda) e em 2005 depois da construção (à direita) .....	14
Figura 11 – Atual estado das juntas do quebra-mar destacado e enrocamento. ....	15
Figura 12 - Esquema representativo das variáveis presentes na difração num ponto localizado numa zona abrangida por um quebra-mar .....	21
Figura 13 - Sistemas GPS utilizados das campanhas de observação. Sistema antena-simples (a) sistema INSHORE (b).....	24
Figura 14 - Litoral da Aguda e Granja com indicação das cinco zonas em estudo (a vermelho as quatro zonas consideradas em todas as campanhas e a verde a zona apenas considerada a partir de Nov-03). Adaptado de <a href="http://www.googleearth.com">www.googleearth.com</a> . ....	26
Figura 15 – Esquema da praia, e zonas consideradas no cálculo de volumes por cotas.....	26
Figura 16 - A. Rosa de rumos com a representação de intervalos da direção de ondulação (dados do IH, para a boia de Leixões recolhidos entre 2001 e 2007). B. Comparação da direção de propagação das ondas para o período 2001 – 2007 e para o período de 1993 – 2003.....	29
Figura 17 - Distribuição mensal da direção média da ondulação (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007) .....	30
Figura 18 - Alturas de onda significativa (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007) .....	31
Figura 19 - Distribuição mensal dos dados de altura de onda significativa (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007).....	31
Figura 20 - Período de onda médio (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007) .....	32
Figura 21 - Distribuição mensal do período de onda média (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007).....	33
Figura 22 - Período de pico (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007).....	33
Figura 23 - Distribuição mensal do período de pico das ondas (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007).....	34
Figura 24 – Galgamento do quebra-mar pelo embate da ondulação (Prata, 2008) .....	41
Figura 25 – Volumes absolutos na zona em estudo entre as praias da Aguda e Granja durante o período de monitorização .....	42

Figura 26 – MDTs da campanha de Set-01 (antes da construção do quebra-mar) à esquerda e campanha de Mar-02 (durante a construção) à direita; a descontinuidade observada no MDT coincide com os locais de manobra de construção do quebra-mar .....	43
Figura 27 – Evolução temporal da geomorfologia da Praia da Aguda (à esquerda) e Praia da Aguda e Granja nas restantes imagens. (A – Aguda e G-Granja) .....	44
Figura 28- Evolução temporal do volume nas zonas de <i>foreshore</i> e <i>backshore</i> (Início da construção: Out-01; finalização: Jul/Ago-02).....	45
Figura 29 – MDT de 23 de Outubro de 2001 (antes da construção do quebra-mar) .....	45
Figura 30 – MDT da campanha de 31 de Outubro de 2011, com detalhe das diferentes morfologias de praia encontradas .....	46
Figura 31 – Evolução do volume sedimentar absoluto ao longo do período de monitorização em cada um dos setores definidos .....	46
Figura 32 – Evolução volumétrica e morfológica do setor C, durante a construção do quebra-mar (A) e após a finalização do mesmo (B). A seta vermelha a 27mai02 representa uma zona de largura crítica de praia e a 12set03 a mesma zona após a construção do quebra-mar. ....	48
Figura 33 – Evolução temporal da morfologia e volume dos setores D e E. As setas indicam zonas de largura crítica da praia ou ausência da mesma .....	50
Figura 34 - Evolução temporal do volume das zonas <i>foreshore</i> e <i>backshore</i> no setor A (Início da construção: Out-01, Finalização: Jul/Ago-02).....	51
Figura 35 – Diferença morfológica entre Setembro de 2004 e Dezembro de 2006 .....	51
Figura 36 – Evolução temporal do volume das zonas <i>foreshore</i> e <i>backshore</i> para o setor B.....	52
Figura 37 – Evolução temporal do volume das zonas <i>foreshore</i> e <i>backshore</i> no setor C .....	53
Figura 38 - Evolução temporal do volume das zonas <i>backshore</i> e <i>foreshore</i> no setor D .....	53
Figura 39 - Evolução temporal do volume das zonas <i>foreshore</i> e <i>backshore</i> no setor E .....	54
Figura 40 – Evolução das zonas <i>foreshore</i> e <i>backshore</i> nos setores D e E.....	55
Figura 41 – MDTs dos setores C e E antes (26mar04) e depois (17jun04) das operações de realimentação artificial em 2004 .....	57
Figura 42 – $\Delta V$ entre Invernos e Verões marítimos .....	58
Figura 43 – $\Delta V$ anual (Período intermédio de Inverno marítimo) .....	59

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Trabalhos de referência na área em estudo (a negrito estão assinaladas as publicações mais relevantes para o presente trabalho).....	3
Tabela 2 – Valores das marés em Leixões (IHRH, 1999).....	8
Tabela 3 - Resumo das propostas de intervenção para a Praia da Aguda (IHRH, 1999) .....	11
Tabela 4 - Dados recolhidos em 2004 relativo ao processo de transferência de areais (retirado de Prata, 2008) .....	16
Tabela 5 - Sedimento retirado do tómbolo formado pelo quebra-mar desde a sua construção. * Sedimento retirado na 2ª intervenção de 2006 e levada para S. Félix da Marinha (retirado de Prata, 2008).....	16
Tabela 6 - Calendarização das 28 campanhas de monitorização efetuadas na área de estudo. As diferentes cores de sombreado identificam os períodos homólogos considerados na análise de dados.....	24
Tabela 7 - Número de registos para intervalos de alturas de onda significativa e respetivos rumos (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007).....	35
Tabela 8 - Número de registos de período de pico e respetivos rumos (dados do IH, para a boia de Leixões recolhidos entre 2001 e 2007).....	36
Tabela 9 - Número de registos de $T_p$ e respetivas alturas significativas (dados do IH, para a boia de Leixões recolhidos entre 2001 e 2007).....	37
Tabela 10 – Número de registos diários em condições de temporal ( $H_s > 4$ ) para os diferentes meses ao longo do período em estudo (0 – possui registos, mas não de temporais; (-) não se possui qualquer registo) .....	38
Tabela 11 – Caracterização de períodos de temporais registados de 2001 a 2011 (dados do IH, para a boia de Leixões) .....	39
Tabela 12 – Resultados da transformação da onda na sua propagação até a rebentação.....	39
Tabela 13 – Coeficientes de difração e altura de onda difratada.....	40
Tabela 14 – Parâmetros da onda na rebentação .....	41
Tabela 15 – Alturas máximas de espraçamento (NMM) na praia e no quebra-mar destacado .....	41
Tabela 16 – Variação de volume entre campanhas consecutivas ao longo de todo o período de estudo .....	56
Tabela 17 - $\Delta V$ (m <sup>3</sup> ) entre Invernos e Verões consecutivos .....	58
Tabela 18 - Balanço sedimentar anual.....	59



## **Lista de abreviaturas**

Ago – Agosto

Dez - Dezembro

DGPS – *Differential Global Positioning System*- Sistema de Posicionamento Global em modo Diferencial

E - Este

ELA – Estação Litoral da Aguda

Fev - Fevereiro

GPS – *Global Positioning System*- Sistema de Posicionamento Global

IH – Instituto Hidrográfico

IHRH – Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos

INAG – Instituto da Água

Jan – Janeiro

Jul – Julho

Jun - Junho

Mai - Maio

Mar- Março

MDT – Modelo Digital de Terreno

N – Norte

NMM – Nível médio das águas do mar

Nov - Novembro

POOC – Plano de Ordenamento da Orla Costeira

S – Sul

SCE – Serviço cartográfico do exército

Set - Setembro

SW - Sudoeste

TIN - *Triangular Irregular Network* – Rede triangular irregular

W – Oeste

ZH – Zero Hidrográfico



## Lista de símbolos

$\beta$  – Inclinação da praia

$C_1$  e  $C_2$  – Coeficiente empíricos para determinação do coeficiente de difração

$d_b$  – Profundidade na rebentação

$H_0$  – Altura significativa da onda ao largo

$H_b$  – Altura de onda na rebentação

$H_i$  – Altura de onda incidente

$H_s$  – Altura significativa da onda

$K_d$  – Coeficiente de difração da onda

$K_s$  – Coeficiente de empolamento da onda

$K_r$  – Coeficiente de refração da onda

$L_0$  – Comprimento de onda ao largo

$L_b$  – Comprimento de onda na rebentação

$L_i$  – Comprimento de onda no ponto de encontro da onda com o obstáculo

$r$  – Distância ao ponto de refração

$T_0$  – Período da onda ao largo

$T_m$  – Período médio da onda

$T_p$  – Período de pico da onda

$\alpha_0$  – Ângulo entre a crista da onda ao largo e a linha de costa

$\alpha_b$  – Ângulo entre a crista da onda na rebentação e a linha de costa

$\lambda$  – Comprimento de onda

$\gamma$  – Ângulo formado entre a linha que une o ponto de difração e o ponto em análise

$\gamma_1$  – Ângulo de incidência da crista da onda em relação ao obstáculo

$\Delta V$  – Variação de volume





# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1. Motivação e objetivos

Desde sempre o mar exerceu uma elevada atração sobre o Homem, tendo-se afirmado ao longo da história como uma importante via de comunicação e fonte de recursos. O extenso litoral que Portugal possui constitui assim uma zona de variadas potencialidades, sendo um valioso recurso natural finito e em grande parte, não renovável à escala temporal humana.

Prova desta importância única das zonas costeiras é a pressão demográfica que se regista nestes locais. Estima-se que cerca de 2/3 da população mundial vive junto ao mar (Paskoff, 1992, *in* Oliveira & Araújo, 2009). No que diz respeito à população portuguesa verifica-se que em 2011 cerca de 67% desta, residia nas regiões litorais (adaptado de Pordata, 2011). Inicialmente estas zonas foram ocupadas por pescadores e, só mais tarde, se verificou a instalação de várias indústrias, que podem ser divididas em várias categorias sendo elas: conservas; refinação de petróleo, químicas e por último a indústria do turismo. Com isto, a costa portuguesa enfrenta as consequências de um elevado grau de atividade humana. Constata-se que há cerca de meio século existe a preocupação com a defesa costeira, devido à diminuição do transporte sedimentar; erosão e recuo de costa que se têm verificado. Nos últimos anos o aumento do nível do mar tem sido também uma preocupação para as zonas costeiras (Dias, 1993).

De forma a proteger a costa ocidental portuguesa das elevadas condições energéticas tem-se recorrido a estruturas rígidas de proteção que, naturalmente provocam alterações nas relações entre fatores hidrodinâmicos e morfodinâmicos. A Praia da Aguda, localizada no distrito do Porto, também sujeita a este tipo de condições de agitação marítima e com uma comunidade piscatória que se via obrigada a lutar contra estas condições adversas quando queriam sair para o mar ou quando regressavam do mesmo pediram, durante muitos anos, que houvesse a construção de uma “obra” que lhes permitisse melhores condições de navegação e que evitasse os galgamentos da marginal por ocasião de temporais. A obra foi pensada e projetada durante cerca de 75 anos e apenas construída em 2001-2002. Optou-se pela construção de um quebra-mar destacado, uma solução inovadora, visto que em Portugal apenas existia um exemplar deste tipo, em Castelo de Neiva, tornando-se interessante e importante o estudo dos impactes desta obra após a sua construção.

Neste sentido, os principais objetivos deste trabalho relacionam-se com a) estudo da evolução geomorfológica da Praia da Aguda nos últimos 10 anos, através da análise, temporal e espacial, de dados recolhidos em várias campanhas de monitorização; b) avaliação do impacte morfológico do quebra-mar, assim como das intervenções ligeiras complementares (alimentação artificial) efetuadas; c) as alterações na propagação da ondulação induzidas pela presença do quebra-mar. Os

resultados obtidos poderão ser, posteriormente, tomados como um instrumento de apoio à gestão litoral.

## 1.2. Estado da arte

São vários os estudos existentes relativos ao litoral português e mais concretamente à Praia da Aguda. Os trabalhos publicados são de natureza multidisciplinar, contudo no presente destacam-se os que abordam a hidrodinâmica costeira; metodologia de aquisição de dados topográficos da praia emersa; geodinâmica e estudos relativos ao quebra-mar destacado da Aguda e que serviram de apoio ao presente trabalho. Estes encontram-se resumidos na tabela 1.

Dos trabalhos anteriormente realizados, destacam-se os estudos efetuados pelo IHRH (1988;1999;2000) que fazem um enquadramento da Praia da Aguda e propõem, de acordo com esse contexto, uma série de hipóteses para a construção da obra tão pedida pelos pescadores, assim como avaliam os prováveis impactos das possíveis construções, concluindo que o quebra-mar destacado com a geometria que atualmente se observa seria a melhor opção. Também os trabalhos de Baptista *et al.* (2004), Baptista (2006) e Baptista *et al.* (2008) se revelam importantes uma vez que abordam metodologias de aquisição de dados georreferenciados com base na geodesia espacial, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), assim como aplicam estas metodologias a litorais arenosos como foi o caso da Praia da Aguda, apresentando resultados do programa de monitorização antes e depois da construção do quebra-mar, permitindo caracterizar as variações volumétricas da praia emersa. Também o trabalho de Prata (2008) se destaca uma vez que este estudou os impactes geomorfológicos e biológicos do quebra-mar. Por último, há a destacar o trabalho de Granja *et al.* (2011) que faz uma análise dos balanços sedimentares, assim como a alteração da direção de propagação da ondulação após a construção da estrutura.

Outros trabalhos servem de apoio ao presente estudo; por exemplo no âmbito da geologia e geomorfologia da Praia da Aguda incluem-se os trabalhos de Chaminé *et al.* (2003) e Araújo (1991,2008). No âmbito da agitação marítima e suas condicionantes, estão os trabalhos de Oliveira *et al.* (1982), IHRH (1988;1999) e Coelho (2005). O primeiro refere que o caudal sólido debitado pelo Rio Douro, que entra na deriva litoral, seria potencialmente  $2 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano mas após a construção de várias infraestruturas, como é o caso das barragens, este caudal diminuiria para  $0.25 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano. Por sua vez, o segundo e terceiro estudos mencionados descrevem detalhadamente o clima de agitação marítima de uma forma localizada na Praia da Aguda, enquanto o último analisa os dados da boia de Leixões, relativos à direção da ondulação, para o período de 1993 a 2003; altura significativa da onda e período médio da ondulação, ambos para o período de 1981 a 2003, concluindo que neste período a direção da ondulação predominante foi de NW, sendo o intervalo de 0.5 – 1.5 m o que possui uma maior frequência de ocorrências no que diz respeito à altura significativa, e o intervalo de período médio mais registado situa-se nos 8 – 9 s.

No que se refere aos estudos relacionados com o quebra-mar e seus impactos, existe duas etapas distintas; uma inicial que diz respeito aos estudos anteriores à construção do quebra-mar (estudos prévios) que é o caso de trabalhos já mencionados (IHRH 1988; 1999; 2000) e uma etapa posterior à construção do quebra-mar, como é o caso de trabalhos de Santos (2004) e Linhares (2006),

dedicados aos impactos a nível biológico, e os já citados (Baptista *et al.*, (2004); Baptista (2006); Prata (2008) e Granja *et al.* (2011)) relativo aos impactos geomorfológicos. As conclusões são comuns a todos eles, a construção do quebra-mar provocou o previsto efeito de tómbolo e o incremento sedimentar a N, para tal contribui também o esporão construtivo provisório. A S verificou-se forte erosão, algo que já era observado antes da construção do quebra-mar, exceto em períodos de Verão e aquando da transposição de sedimentos. É também consensual a alteração do clima de agitação marítima que, em parte, resultou na criação de uma baía de águas calmas.

**Tabela 1 - Trabalhos de referência na área em estudo (a negrito estão assinaladas as publicações mais relevantes para o presente trabalho)**

Ano	Autor	Título
1982	Oliveira <i>et al</i>	Littoral problems in the Portuguese west coast
<b>1988</b>	<b>IHRH</b>	<b>Estudo Prévio das Obras de Protecção da Praia da Aguda.</b>
1991	Araújo, M	Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto
<b>1999</b>	<b>IHRH</b>	<b>Quebramar destacado da Aguda - Estudo Prévio</b>
<b>2000</b>	<b>IHRH</b>	<b>Quebramar destacado da Aguda - Projecto de Concepção</b>
2002	INAG	Quebramar Destacado da Praia da Aguda
2003	Chaminé <i>et al</i>	Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto – Albergaria - a-Velha – Coimbra – Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Máçio Ibérico, W de Portugal)
<b>2004</b>	<b>Baptista <i>et al</i></b>	<b>Impacte Morfodinâmico de uma Obra de Protecção Costeira: O Quebra-mar da Aguda</b>
2004	Santos, P	Avaliação do Impacto do Quebramar Destacado na Comunidade Intertidal da Praia da Aguda, no Norte de Portugal
2005	Coelho, C	Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira
<b>2006</b>	<b>Baptista, P</b>	<b>O Sistema de Posicionamento Global Aplicado ao Estudo de Litorais Arenosos</b>
2006	Linhares, E	Avaliação do potencial impacto do quebra-mar destacado na diversidade faunística associada aos recifes de Sabellaria alveolata (L.) da praia da Aguda
2008	Baptista <i>et al</i>	Aplicação de metodologias de monitorização GPS em litorais arenosos: Geração de modelos de elevação do terreno
2008	Araújo, M	Depósitos do Pleistocénico Superior e do Holocénico na Plataforma Litoral da Região do Porto: a Morfologia das Plataformas de Erosão Marinha e a Tectónica Recente
<b>2008</b>	<b>Prata, J</b>	<b>Impactos e Colonização Biológica de uma Estrutura de Defesa Costeira – o Quebramar da Aguda</b>
2009	Oliveira & Araújo	As praias entre a Foz do Douro e a Granja: algumas reflexões sobre a erosão costeira
<b>2011</b>	<b>Granja <i>et al</i></b>	<b>Small harbours risks: Lowering for fishery and increasing erosion. The case of Portinho de Aguda (NW Portugal)</b>

### **1.3. Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. No capítulo 1 é feita uma introdução, onde se descreve a motivação, objetivos, estado da arte e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é feita uma descrição detalhada em termos geológicos e físicos da zona de estudo, assim como é descrita a obra de defesa costeira presente no local (quebra-mar destacado).

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada na elaboração deste estudo, inicialmente é descrito o procedimento efetuando no tratamento de dados de agitação marítima, seguindo-se a metodologia de campo que diz respeito à aquisição de dados topográficos. Posteriormente é feita a descrição do tratamento de dados adquiridos.

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos de acordo com a metodologia enunciada no capítulo 3. Os resultados são divididos em dois temas distintos: agitação marítima e evolução geomorfológica da praia.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões do presente trabalho e desenvolvimentos futuros a considerar.

## Capítulo 2

### Caracterização e evolução da zona de estudo

#### 2.1. Características naturais

As características naturais dizem respeito à localização da área de estudo e às particularidades que advém dessa mesma localização, como é o caso das características geológicas e geomorfológicas do local, assim como, as características de agitação marítima, maré e temporais que afetam a zona de estudo. Os aspetos descritos nesta secção não estão ligados a acontecimentos antropogénicos e não dependem de uma atuação direta por parte do Homem.

##### 2.1.1. Localização e enquadramento

A zona de estudo localiza-se no litoral adjacente à vila da Aguda e Granja (Fig. 1) no concelho de Vila Nova de Gaia, a cerca de 10 km a S da embocadura do Rio Douro. No entanto, a zona que merece maior destaque corresponde à Praia da Aguda abrangida pela carta militar nº 133, SCE, à escala 1/25000.

Esta praia integra uma comunidade que na década de 50 do século XX foi bastante numerosa (IHRH, 1988) e cujo núcleo habitacional se situa mesmo ao lado da praia. Esta comunidade dedica-se principalmente à pesca artesanal sendo uma atividade intermitente uma vez que é condicionada pelas condições de agitação marítima.



Figura 1 - Localização das praias da Aguda e Granja. Imagem aérea do troço costeiro antes da construção do quebra-mar em 1995 (A) e depois da construção do mesmo em 2005 (B) (Granja *et al.*, 2011)

### **2.1.2. Enquadramento geológico e geomorfológico**

Com um comprimento de cerca de 900 m e orientação NNW – SSE, a Praia da Aguda é de natureza arenosa, desenvolvida sobre um substrato rochoso de natureza metamórfica, com alguns níveis silto-argilosos (Baptista *et al.*, 2004) (Fig. 2). No que diz respeito à largura da praia, e em virtude de esta se encontrar integrada numa costa exposta às elevadas condições energéticas do Atlântico Norte, apresenta uma grande variação de acordo com a sazonalidade das condições de agitação (Baptista *et al.*, 2004).

A N e a S do aglomerado urbano é ainda possível encontrar cordão dunar que devido à pressão antropogénica está danificado, encontrando-se em recuperação em alguns locais que têm sido alvo de medidas de reabilitação dunar (Fig. 3). O substrato rochoso define extensas plataformas de abrasão marinha. A presença de migmatitos, gneisses e micaxistos, estes últimos com menor resistência à erosão mecânica, poderá explicar, em parte, a extensão da plataforma de erosão marinha que se pode observar entre as praias da Aguda e da Granja (Araújo, 2008). Encontram-se também filões aplíticos, pegmatíticos e aplitopegmatíticos nesta região (Prata, 2008).

Na Praia da Aguda é também possível observar a presença de depósitos eólicos e lagunares do final do quaternário, mais especificamente do holocénico, que afloram devido à intensa erosão que se faz sentir a S do quebra-mar (Prata, 2008).



**Figura 2 - Praia da Aguda, substrato rochoso de natureza metamórfica**



**Figura 3 – Reabilitação do cordão dunar da Praia da Aguda N**

### **2.1.3. Enquadramento oceanográfico**

#### **2.1.3.1. Agitação marítima**

Para uma correta análise da agitação marítima é indispensável a caracterização de determinados parâmetros relativos à ondulação: altura significativa, período médio e de pico e direção de propagação, uma vez que o transporte de sedimentos pela deriva litoral depende destes mesmo parâmetros.

Segundo Carvalho & Barceló (1966), na costa ocidental portuguesa verifica-se que as alturas significativas mais frequentes são de 1 a 2 m, com 45% das ocorrências, sendo o máximo registado de 11 m, o que significa que não possam ocorrer valores superiores associados a temporais. No que diz respeito à percentagem de valores cuja altura significativa da onda é superior a 3 m, esta corresponde a 15%, sendo que apenas 2% são superiores a 6 m. A altura significativa da onda apresenta uma grande variabilidade mensal, ocorrendo valores máximos (11 m) nos meses de Dezembro e Janeiro e cerca de 4 m em Junho. Relativamente ao período significativo da onda, este varia entre os 9 e 11 s, sendo que o valor mínimo observado é de 6 s e o máximo de 18 s. Este parâmetro mantém-se praticamente constante ao longo de todo o ano, observando-se no entanto uma tendência para diminuir nos meses de Junho, Julho e Agosto (Ferreira, 1993).

Segundo Diogo (2004), de acordo com a análise de registos, o rumo predominante da ondulação na costa ocidental é WNW, com 44.7% das ocorrências no Verão, 28.9% nos períodos de transição e 22.6% no Inverno, enquanto para Coelho (2005) o rumo predominante é NW, com cerca de 42.4% da frequência de ocorrência total.



### 2.1.3.2. *Maré*

As mais longas ondas oceânicas estão associadas à maré sendo caracterizadas pela subida (enchente) e descida (vazante) periódica do nível das águas durante um período de várias horas, devido às ações atrativas da Lua e do Sol (Dias, 2011). A enchente e a vazante manifestam-se como correntes de maré, que podem ser bastante fortes, especialmente quando a água é limitada por zonas pouco profundas ou acidentes morfológicos (por exemplo: embocaduras de canais).

As marés na costa ocidental portuguesa são semi-diurnas (duas preia-mar e duas baixa-mar) ou seja, têm um período de 12.42 h solares que equivalem a meio dia lunar (IHRH, 1999). As cotas de água são sempre referidas ao nível do ZH, o qual fica 2 m abaixo do NMM. Os valores das alturas de maré são obtidos com base em dados de marégrafos localizados ao longo da costa e neste caso toma-se como referência o marégrafo de Leixões, onde se verifica que esta não ultrapassa em muito os 4 m em preia-mar de marés vivas (tabela 2).

**Tabela 2 – Valores das marés em Leixões (IHRH, 1999)**

Marés	Marés Vivas (m)			Média (m)	Marés Mortas (m)		
	Máxima	Média	Mínima		Máxima	Média	Mínima
Preia-Mar	4.04	3.42	2.92	2.96	2.92	2.50	2.00
Baixa-Mar	0.80	0.50	-0.20	0.90	2.00	1.30	0.85

As marés podem ser influenciadas por fenómenos meteorológicos (marés meteorológicas), originando uma sobre-elevação do NMM, que resulta da existência de condições anómalas, nomeadamente, de variações do campo de pressão atmosférica e/ou ação de ventos fortes e persistentes. Esta sobre-elevação geralmente denominada de “storm surge” é definida através da diferença entre o nível de maré observado e a altura de maré astronómica prevista (Taborda & Dias, 1992), que usualmente não ultrapassa os 0.3 a 0.4 m para as amplitudes de maré e 10 a 15 minutos para os tempos de ocorrência de níveis máximos e mínimos (IHRH, 1999). No entanto, o estudo deste fenómeno é fundamental na gestão do litoral, uma vez que é durante os períodos de sobre-elevação significativa, associados a temporais e coincidentes com períodos de preia-mar de marés vivas, que se verificam os principais episódios de erosão costeira. O primeiro estudo publicado que quantifica o “storm surge” no território continental português é o de Morais & Abecassis (1978) que referem a ocorrência de um nível de sobre-elevação de 53 cm no marégrafo de Leixões, durante um temporal ocorrido em Janeiro de 1973. Ainda segundo Taborda & Dias (1992), os valores máximos registados de sobre-elevação do nível do mar foram de 1 m em Viana do Castelo, em 1973, e 1.2 m em Aveiro em Dezembro de 1981.

### 2.1.3.3. *Temporais*

A costa portuguesa situada na margem oriental do Oceano Atlântico está frequentemente sujeita à atuação de temporais muito violentos, que são os principais agentes da erosão costeira, gerando uma elevada agitação marítima associada à rebentação de ondas de longo período. No entanto,



também com frequência o território português é afetado pela passagem de núcleos de baixas pressões e/ou superfícies frontais que tem como consequência a geração de ondas de curto período, mas igualmente destrutivas (Dias *et al.*, 1994).

Nos processos costeiros e de dinâmica litoral é muito importante a análise de incidência de temporais quer em termos da caracterização dos processos mas também das consequências associadas, uma vez que o resultado da ação de temporais acarreta muitas vezes elevados prejuízos, sendo que o seu potencial destrutivo é maior em litorais expostos.

São alguns os estudos efetuados sobre o regime de temporais como os de Carvalho & Barceló (1966) e Pires & Pessanha (1986) que indicam que a violência destes processos na costa ocidental, que é maior a N do que a S. Ferreira (1998) comparou os resultados de outros dois estudos, Pita & Santos (1989) e Andrade *et al.* (1996), tendo concluído que, para os primeiros autores, cerca de 94.8% dos temporais existentes ocorrem nos meses de Inverno marítimo, onde os eventos mais frequentes registam uma altura máxima da ondulação entre 5 m e 6 m, com uma percentagem de ocorrência de 57% a 91% respetivamente, já os registos superiores a 10 m apenas constituem 3% a 17% das ocorrências. No que diz respeito aos valores de Andrade *et al.* (1996) *in* Diogo (2004), este indica uma frequência de temporais menor, cerca de 84%, com registos relativos à ondulação superior a 10 m de 12% das ocorrências.

Estes autores apresentam valores idênticos para o número médio de ocorrência de temporais por ano, 2,7 a 3 temporais, cuja duração média é de 4 dias. Todavia, em casos extremos pode-se atingir o máximo de 14 dias segundo Pita & Santos (1989) e 26 dias segundo Andrade *et al.* (1996) (*in* Diogo, 2004).

## **2.2. Ações antropogénicas**

As ações antropogénicas dizem respeito às atividades e intervenções do Homem e que de uma forma direta alteram as características naturais do local. Neste caso, as ações antropogénicas dizem respeito à construção do quebra-mar destacado na Praia da Aguda e todas as intervenções decorrentes desta construção.

### **2.2.1. Historial**

Um “pequeno porto de abrigo”, “paredão”, quebra-mar ou uma outra estrutura de abrigo para a comunidade piscatória, foi reivindicação desta, durante longos anos, desde pelo menos 1964 que existiu a promessa da realização de uma obra (INAG, 2002). No entanto sabe-se que já em 1935 se havia procedido às primeiras sondagens para a construção do “Portinho da Aguda”, pelo Comandante Aragão e Melo (Prata, 2008). A origem da Praia da Aguda não está claramente bem definida, pensando-se que o núcleo a partir do qual nasceu a Aguda tenha sido implementado por volta de 1870 (Santos, 2004).

Ao longo de 75 anos foram pensadas e projetadas várias estruturas de carácter inovador para dar alguma proteção às embarcações de pesca quando estas se faziam ao mar ou quando regressavam, de forma a evitar a intermitência desta atividade, que seria interrompida cerca de 120 a 150 dias por ano (INAG, 2002) e, quando exercida era frequentemente sob alto risco devido à morfologia e agitação marítima locais.

A opção da construção do quebra-mar destacado<sup>1</sup>, paralelo à costa, com convergência para N, segundo estudos realizados em 1988, seria a melhor opção para este local, pois teria uma menor interferência no transporte de sedimentos para S, diminuindo assim as alterações fisiográficas a S (Praia da Granja), assim como em termos de danos pessoais, uma vez que um quebra-mar ligado a terra poderia ser fonte de problemas (Santos, 2004). De acordo com o POOC, foi então projetado o quebra-mar destacado, uma obra da responsabilidade do Instituto da Água, tutelado pelo Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e adjudicada à empresa “Irmãos Cavaco S.A.”, com um custo de 4.770.260 € e com um prazo contratual de 12 meses, tendo o seu início a 1 de Outubro de 2001 e fim em Agosto de 2002 (Fig. 4) (INAG, 2002).



Figura 4 - Placa informativa da obra (Prata, 2008)

### ***2.2.2. Localização e forma do quebra-mar***

No estudo feito em 1988, realizado pelo IHRH, foram consideradas nove hipóteses de intervenções para a praia da Aguda; no entanto só posteriormente, no estudo de 1999 foram discutidas cada uma das possíveis intervenções pelas entidades envolvidas no processo. As hipóteses de intervenção encontram-se representadas na Figura 5 e resumidas na tabela 3.

---

<sup>1</sup> Estrutura rígida de engenharia costeira que tem como finalidade principal proteger a entrada de um porto da onda dominante, embora seja também utilizada como estrutura de proteção costeira, quando construído a certa distância da costa denomina-se de quebra-mar destacado (adaptado de APRH, 2007a)



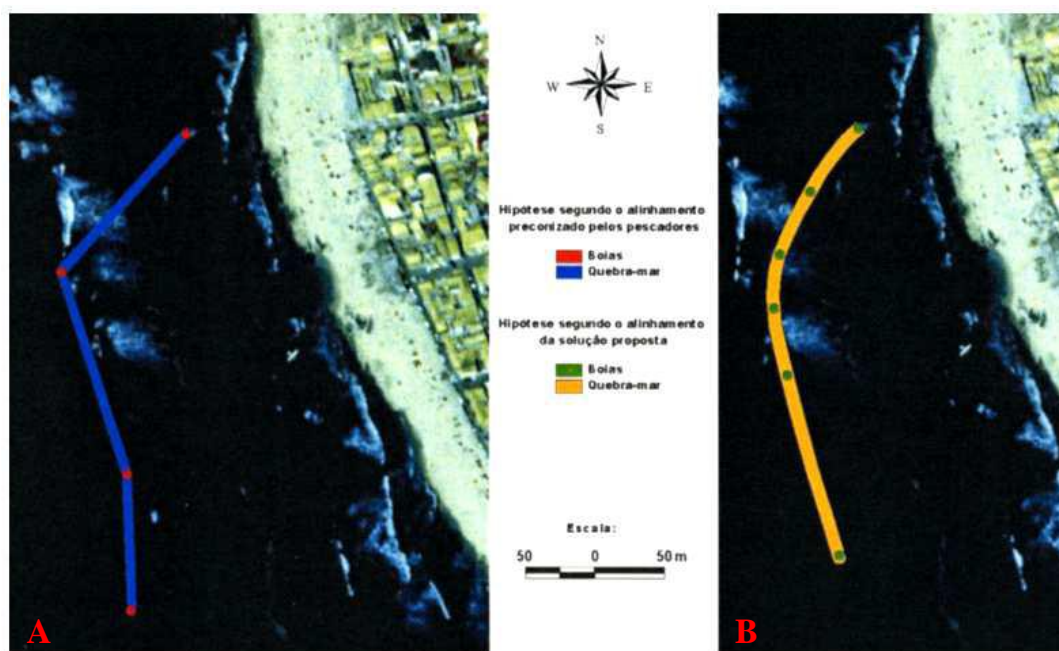
**Figura 5 - Hipóteses em discussão para a localização do quebra-mar da Aguda (Prata, 2008 adaptado de IHRH, 1999)**

**Tabela 3 - Resumo das propostas de intervenção para a Praia da Aguda (IHRH, 1999)**

Hipótese	Intervenção construtiva	Entidade / Estudo
<b>I</b>	Esporão	Representantes dos pescadores (Câmara Municipal de V. N. de Gaia, Gabinete de Planeamento Urbanístico, Março 1987).
<b>II</b>	Esporão curvilíneo a N da Aguda (280 m, cotas de coroamento +7 m e +5 m, ou 300 m se considerado até à cota +8 m) - $\Pi_N$ . Esporão a S da Aguda (150 m, cotas de coroamento +7 m e +5 m, afastado 600 m de $\Pi_N$ - $\Pi_S$ ).	Plano de Obras do Estudo “Problemas Litorais Leixões/ Cabo Mondego”, elaborado pela Hidrotécnica Portuguesa para a Direção Geral de Porto, Junho 1981.
<b>III</b>	Quebra-mar destacado – 340 m (alternativa à hipótese II)	
<b>IV</b>	Quebra-mar destacado – 220 m (alternativa à hipótese III)	
<b>V</b>	Esporão em L (330 m, cotas de coroamento +7 m e +9 m)	
<b>VI</b>	Esporão curvilíneo com enraizamento favorável à proteção do portinho da Aguda (320 m, cotas de coroamento +7 m e +9 m)	IHRH
<b>VII</b>	Esporão retilíneo com enraizamento próximo do caneiro N (310 m, cotas de coroamento +7 m e +9 m)	
<b>VIII</b>	Esporão em L com traçado idêntico a V, mas com enraizamento mais próximo do caneiro N	

Uma nona hipótese resulta do estabelecido no POOC Caminha – Espinho, no Programa de Execução e Plano de Intervenção (FBO – Consultores, Maio de 1997) que estabelece como objetivos de intervenção para a Unidade Operativa de Gestão (UOPG) nº 14 do “Núcleo Antigo da Aguda” (IHRH, 1999). A intervenção consistia num quebra-mar destacado com uma extensão de aproximadamente 340 m e uma cota de coroamento de cerca de +5 m (ZH). Tal como previsto no POOC, uma estrutura destacada da costa iria minimizar a retenção dos sedimentos a barlar e consequente agravamento da erosão a S.

Foi pedido aos pescadores que colocassem boias com a localização que eles pretendiam para a construção do quebra-mar, de modo que todos os interessados participassem assim neste projeto (Fig. 6). Esta localização foi também sujeita a apreciação no projeto final (Prata, 2008).



**Figura 6 - Localização proposta pelos pescadores através da colocação de boias (A) e localização final do quebra-mar (B) (IHRH, 1999)**

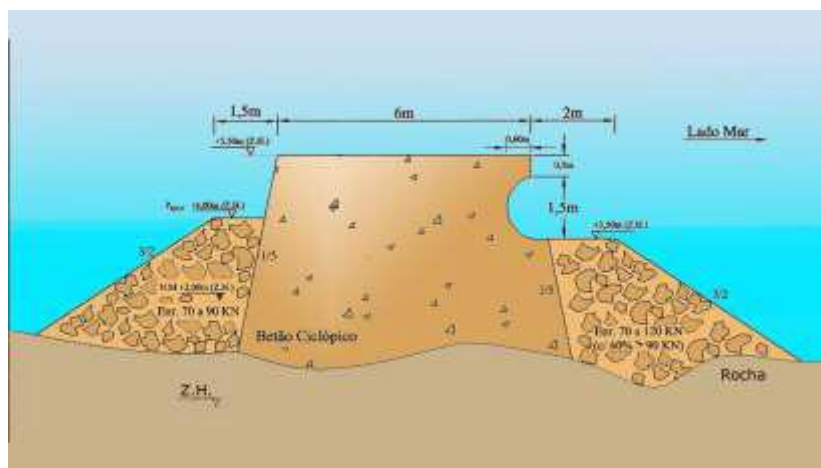
Como se pode verificar a localização final do quebra-mar (Fig. 6B), é bastante próxima da sugerida pelos pescadores (Fig. 6A), existindo um compromisso entre a urgência da intervenção, a necessária contenção de custos e os seus objetivos. Esta localização, mais próxima da costa, desfruta de alguma proteção natural proporcionada pelas rochas a W (IHRH, 1999).

### **2.2.3. A obra – Execução e manutenção**

O quebra-mar destacado da Aguda possui 330 m de comprimento, 6 m de largura e uma cota de coroamento de + 5.5 m (ZH) (nona hipótese referida no tópico 2.2.2, com pequenas modificações), com vista a reduzir o impacte visual da obra. Construído em betão ciclópico para reduzir os fenómenos de retração do betão durante a construção e de forma a reduzir futuras operações de manutenção (INAG, 2002), o núcleo encontra-se protegido a toda a volta por um enrocamento de pedra natural até à cota + 3.5 m (ZH), de forma a suportar as elevadas condições de agitação marítima e desgaste erosivo a que está sujeito (Prata, 2008).

O enrocamento presente a barlar do quebra-mar tem como finalidade dissipar a energia das ondas e amortecer o impacto da agitação marítima, enquanto o enrocamento a sotamar ajuda a diminuir o impacto visual negativo do quebra-mar, cujo perfil transversal pode ser observado na Figura 7.

Segundo o IHRH (2000), para a construção da estrutura foi utilizado um volume de 15000 m<sup>3</sup> de betão no núcleo, 6200 m<sup>3</sup> de pedra no enrocamento a barlar e cerca de 5500 m<sup>3</sup> de pedra no enrocamento a sotamar. Foram também construídos dois farolins, um em cada extremidade do quebra-mar, equipados com sinalização noturna para segurança da navegação.



**Figura 7 - Perfil transversal do quebra-mar da Aguda (INAG, 2002)**

A obra iniciou-se com a construção de um esporão construtivo a partir da rua do Mar (Fig. 8); este acesso permitia a movimentação dos camiões e das máquinas para a construção do quebra-mar. A montagem desta estrutura desenvolveu-se desde a extremidade N até atingir o comprimento pretendido. Os últimos trabalhos desenvolvidos relacionaram-se com a retirada do esporão construtivo e remoção dos sedimentos entretanto acumulados pela ação conjunta da interrupção da deriva litoral de sedimentos e pelo efeito da difração das ondas (Prata, 2008) (Fig. 9).



**Figura 8 - Construção do quebra-mar destacado (INAG, 2002)**



**Figura 9 - Remoção do esporão construtivo no finalizar da construção da estrutura (Prata, 2008)**

Como em qualquer construção de defesa costeira, são necessárias intervenções de manutenção para que estas continuem a desempenhar a sua função corretamente. O período de manutenção das diversas construções não é sempre o mesmo, uma vez que depende das condições energéticas,



assim como os processos de execução das mesmas não são iguais. Estruturas expostas a condições energéticas mais intensas, necessitam de um período de manutenção menor (Reis, 2010).

No caso do quebra-mar destacado da Aguda, após 4 anos sobre a conclusão da obra eram já visíveis sinais de degradação no betão do núcleo, as juntas entre os módulos de betão acusavam o desgaste provocado pela água e sedimento ejetados através delas devido ao embate das ondas (Prata, 2008). Também algumas pedras do enrocamento terão sido deslocadas da sua posição original. O assoreamento devido à presença do quebra-mar (Fig. 10) carece de remoção para segurança dos pescadores, e entre 2003 e 2007 houve a remoção de sedimentos da região do tómbolo para S da Praia da Aguda e para a Praia da Granja; no entanto segundo órgãos de comunicação locais durante o primeiro trimestre de 2008, o INAG “comprometeu-se a remover 60 mil m<sup>3</sup> de areia para resolver o problema de assoreamento no quebra-mar da Aguda” e até a data da publicação (18 Setembro de 2008) não o terá feito.



**Figura 10 - Fotografia aérea da Praia da Aguda em 2001 antes da construção do quebra-mar (à esquerda) e em 2005 depois da construção (à direita)**

De 2008 até ao presente têm sido realizadas realimentações na Praia da Granja, a partir da zona do tómbolo; estas intervenções têm sido da responsabilidade das Águas de Gaia e da junta de freguesia e são realizadas sem qualquer tipo de acompanhamento de carácter científico. No que diz respeito ao INAG, este demarcou-se da obra após a última intervenção (transferência de sedimentos), sendo que nunca mais houve qualquer tipo de manutenção da estrutura, o qual se reflete no atual estado da mesma, onde são evidentes os sinais de degradação quer a nível do betão (Fig. 11), quer a nível da segurança, pois os faroletes não funcionam há anos e na ausência de

qualquer tipo de vigilância, esta construção é utilizada pela população para inúmeros fins sobretudo no Verão, tendo já ocorrido acidentes.



Figura 11 – Atual estado das juntas do quebra-mar destacado e enrocamento.

#### ***2.2.4. Realimentação artificial (transferência de sedimentos)***

A realimentação artificial de praias consiste na introdução de grandes quantidades de sedimento de forma a compensar o desequilíbrio devido à erosão natural e/ou aos impactes antropogénicos, como por exemplo as estruturas de defesa costeira. Estes sedimentos, transportados por camião, dragas ou outros, são espalhados na praia. O método é bastante utilizado em numerosas orlas costeiras como são os casos dos Estados Unidos, Países – Baixos, costa mediterrânica, Espanha (ANCORIM, 2011).

As principais vantagens deste método são as de restabelecer o perfil de equilíbrio da praia, protegê-la dos agentes de erosão, como é o caso das ondas e temporais, assim como o aumento da extensão da mesma. Além disso, este procedimento não tem consequências nefastas para as praias vizinhas como acontece com outras metodologias de defesa costeira. As principais desvantagens prendem-se com os custos avultados que esta metodologia acarreta, assim como algumas dragagens e aterros que perturbam a biodiversidade dos locais de recolha e depósito (ANCORIM, 2011).

A transferência de sedimentos começou em 2003 (ano seguinte à construção do quebra-mar), antes do início da época balnear, e foi feita a retirada de sedimentos da zona do tómbolo para a Praia da Aguda S, onde foi feito o preenchimento de uma faixa de cerca de 20 m de largura até à Praia da Granja, cujo areal foi repostado integralmente de forma às pessoas poderem usufruir da prática balnear nesta região, principalmente junto da foz da ribeira da Granja e das piscinas da

Granja (Prata, 2008). Nos anos seguintes, 2004, 2005 e 2006, as transferências de sedimentos foram feitas diretamente do tómbolo para a Praia da Granja, pois verificou-se que para S da Praia da Aguda o sedimento não permanecia muito tempo no local (cerca de dois meses) (Prata, 2008).

As transferências de sedimento durante os anos de 2003 e 2004 estiveram a cargo do INAG, no entanto durante os anos de 2005 e 2006 este encargo pertenceu à Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia. Ainda em 2006, mas posterior à época balnear, a Empresa Municipal Águas de Gaia (empresa camarária responsável pelas realimentações) procedeu à transferência de 3000 m<sup>3</sup> de sedimento para as dunas de S. Félix da Marinha, junto à ribeira de Pêgo (Prata, 2008).

Segundo Prata (2008), a quantidade de sedimento transferido foi estimada com base nos camiões que efetuavam o transporte da mesma, no volume transportado por cada camião e o número de viagens/horas e horas/dia de trabalho. No ano de 2004 todos estes parâmetros foram contabilizados no terreno (tabela 4) permitindo calcular médias que serviram posteriormente de base às estimativas feitas para os restantes anos em que apenas se contabilizara o número de camiões (nº de cargas), horas de trabalho diário e dias de duração da empreitada (tabela 5).

**Tabela 4 - Dados recolhidos em 2004 relativo ao processo de transferência de areais (retirado de Prata, 2008)**

<i>Data</i>	<i>Cargas/horas</i>	<i>Nº de horas</i>	<i>Cargas/dia</i>	<i>m<sup>3</sup>/carga</i>	<i>Vol. Total (m<sup>3</sup>)</i>
<b>5.5.04</b>	24	7	168	13.5	2268
<b>6.5.04</b>	20	7	140	13.5	1890
<b>7.5.04</b>	24	7	168	13.5	2268
<b>10.5.04</b>	19	7	133	13.5	1796
<b>11.5.04</b>	23	7	161	13.5	2174
<b>12.5.04</b>	18	7	126	13.5	1701
<b>13.5.04</b>	11	7	77	13.5	1040
<b>14.5.04</b>	11	7	77	13.5	1040
<b>17.5.04</b>	11	7	77	13.5	1040
<b>Total</b>			1127	-	15271
<b>Média diária</b>			125.2	13.5	1690.8

**Tabela 5 - Sedimento retirado do tómbolo formado pelo quebra-mar desde a sua construção. \* Sedimento retirado na 2ª intervenção de 2006 e levada para S. Félix da Marinha (retirado de Prata, 2008)**

<i>Ano</i>	<i>Dias de trabalho</i>	<i>Nº de cargas</i>	<i>Volume de sedimento (m<sup>3</sup>)</i>
<b>2003</b>	10	1199	16187
<b>2004</b>	9	1127	15217
<b>2005</b>	3	360	4860
<b>2006</b>	16	1568	21168
<b>2006*</b>	20*	222	2997
<b>2007</b>	8	768	10368
<b>Total</b>	66	5224	<b>70797</b>

Como se pode ver na tabela 5 no total foram transferidos 70797 m<sup>3</sup> de sedimentos da zona do tómbolo para as diversas zonas referidas anteriormente. Esta informação é muito importante no cálculo do balanço de massa (sedimentar) que se impõe neste estudo, de forma a perceber o que



aconteceu aos sedimentos que entraram no sistema nos últimos 10 anos (analisados neste estudo), considerando que o valor médio anual de caudal sódio debitado pelo rio Douro é de  $0.25 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



## Capítulo 3

### Metodologia

#### 3.1. Análise estatística da agitação marítima

O Instituto Hidrográfico (IH) dispõe de três boias ondógrafo na costa portuguesa, estando estas localizadas em Leixões, Sines e Faro. Por ser a boia ondógrafo mais próxima do local de estudo foram analisados dados relativos à boia de Leixões para o período de sete anos, entre Jun-01 e Dez-07.

Foram recolhidos valores relativos à altura significativa ( $H_s$ ), que corresponde à média do terço mais elevado das alturas de onda que foram registadas durante o período de observação (IH, 2012). Foram também recolhidos os valores de período médio ( $T_m$ ) que correspondem à média dos períodos observados no registo, ou seja, representa o período típico das ondas registadas durante o período de observação (IH, 2012). Também o período de pico ( $T_p$ ) foi analisado, o qual diz respeito à banda de frequências com o máximo valor de densidade espectral, sendo representativo das ondas mais energéticas presentes no registo. Por fim, foram recolhidos os valores de direção média (Dir) que corresponde à direção de propagação das ondas mais energéticas, sendo usualmente medida a partir do N no sentido dos ponteiros do relógio (IH, 2012). Na análise estatística dos dados todos os valores iguais a zero nos vários parâmetros analisados foram eliminados. Neste estudo pormenorizado referido anteriormente de cada um dos parâmetros relativos à agitação marítima, apenas foram analisados estes sete anos uma vez que os dados de agitação mais recentes (2008-2011) foram disponibilizados posteriormente ao tratamento dos registos de 2001-2007.

Com toda a série de dados disponível (2001-2011), recorreu-se a dados de  $H_s$  que foram convertidos em médias/dia e com isto considerou-se que quando  $H_s > 4$  m durante um ou mais dias estar-se-ia perante um evento de temporal. Com esta informação é apresentado: o número de registos anuais de temporais (dias), a  $H_s$  e correspondente persistência média destes (a partir das médias/dia), assim como os meses em que ocorrem.

Neste trabalho serão ainda abordados e quantificados diferentes fenómenos que produzem alteração da onda aquando da sua propagação em direção à costa. Estes fenómenos são: empolamento, refração, difração devido à presença do quebra-mar na zona de estudo, rebentação e espraçamento.

O empolamento acontece quando as cristas das ondas se aproximam da costa, com uma incidência paralela (relativamente às curvas de nível do fundo do mar), existindo uma diminuição da profundidade que se traduz numa diminuição de velocidade, diminuição do comprimento de onda e aumento da altura da onda devido à lei da conservação da massa. Pode ser quantificado a partir do coeficiente de empolamento ( $K_s$ ) dado pela seguinte equação (3.1):

$$K_s = \frac{\cosh(kd_b)}{\sqrt{\cosh(kd_b) \sinh(Kd_b) + kd_b}}, k = \frac{2\pi}{L} \quad (3.1)$$

Em que  $d_b$  representa uma estimativa da profundidade da rebentação e muitas vezes é dada pela expressão 3.11,  $H_0$  é a altura significativa da onda ao largo, e neste estudo foi a média das alturas significativas registadas na boia de Leixões entre 2001 e 2007 (dados do IH). Para este estudo foram definidas quatro profundidades para análise com auxílio de um levantamento topobatimétrico da Praia da Aguda de Julho de 1999. As profundidades foram escolhidas de acordo com a proximidade à costa e à obra.  $L_b$  representa o  $\lambda$  na rebentação é calculada com o recurso a um processo iterativo (equação implícita) obtido de acordo com a expressão 3.2:

$$L_b = L_0 \tanh(kd_b) \quad (3.2)$$

Em que  $L_0$  é dado pela expressão 3.3:

$$L_0 = \frac{gT_0^2}{2\pi} \quad (3.3)$$

Nesta expressão  $T_0$  diz respeito ao período de onda ao largo, que neste estudo tal como para  $H_0$  é a média dos períodos médios registados entre 2001 e 2007 (dados do IH).

Outro dos fenómenos a estudar é a refração que ocorre quando as cristas das ondas ao aproximar-se da linha de costa apresentam um determinado ângulo relativamente às curvas de nível do fundo do mar. À medida que a onda entra em profundidades intermédias, a velocidade e  $\lambda$  diminuem aumentando a altura e permanecendo o período constante, como as ondas de águas profundas possuem maior velocidade que as de águas pouco profundas, a variação de velocidade de deslocamento obriga a uma rotação e encurvamento da crista de onda que tende a tornar-se paralela à linha de costa (Coelho, 2005). O efeito da rotação que a crista da onda sofre é denominado de refração e pode ser quantificado pelo coeficiente de refração ( $K_r$ ) dado pela expressão 3.4:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha_b)}} \quad (3.4)$$

$K_r$  depende da orientação da onda ao largo ( $\alpha_0$ ), que neste estudo é a médias das direções obtidas entre 2001 e 2007 (dados do IH) considerando que a linha de costa possui orientação N 19 ° W (Fig. 12). Com o conhecimento deste parâmetro é possível o cálculo da direção da onda na rebentação ( $\alpha_b$ ), por aplicação na lei de Snell como se pode ver na expressão 3.5:

$$\frac{\sin(\alpha_b)}{L_b} = \frac{\sin(\alpha_0)}{L_0} \Leftrightarrow \alpha_b = \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha_0)}{L_0} L_b\right) \quad (3.5)$$

A altura de onda na rebentação ( $H_b$ ), depende então de  $H_0$  que por sua vez é afetada pelos efeitos de redução de profundidade  $K_s$ , e de refração  $K_r$ , e pode ser obtido pela expressão 3.6.

$$H_b = K_s K_r H_0 \quad (3.6)$$

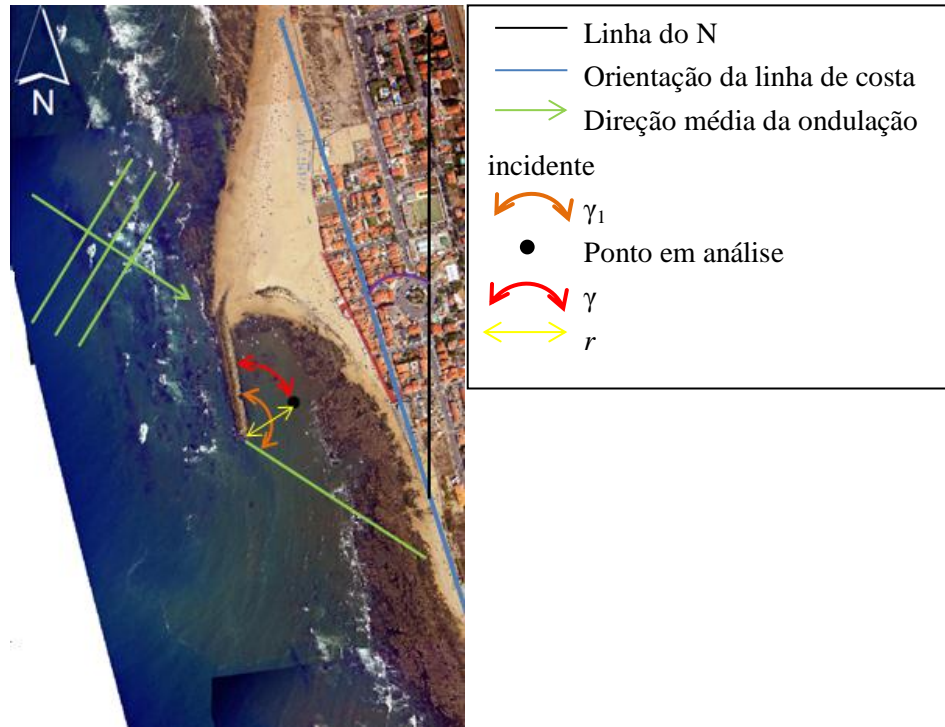
Com particular interesse neste trabalho a difração acontece quando existe a mudança repentina das condições de propagação da onda, provocada geralmente por obstáculos, como é o exemplo dos quebra-mares. Quando a onda encontra este obstáculo sofre alterações de direção e altura. Foi então adotado um coeficiente de difração  $K_d$  de acordo com as expressões seguintes:

$$C_1 = \left(1 - \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma_1}\right)^2 \quad (3.7)$$

$$C_2 = 1 - C_1 \quad (3.8)$$

$$K_d = C_1 + \left(\frac{e^{-2\frac{r}{L_i}} - 0.01\frac{r}{L_i} + 0.2}{1.2}\right) C_2 \quad (3.9)$$

Em que  $C$  são coeficientes empíricos,  $\gamma_1$  é o ângulo de incidência das ondas em relação ao quebra-mar,  $\gamma$  é o ângulo formado ente a linha que une o ponto de difração e o ponto em análise com a orientação da obra de defesa,  $L_i$  é o comprimento de onda registado quando a onda encontra o obstáculo e por fim  $r$  representa a distância ao ponto de refração, como se pode ver na Figura 12.



**Figura 12 - Esquema representativo das variáveis presentes na difração num ponto localizado numa zona abrangida por um quebra-mar**

A altura de onda difratada ( $H_{dif}$ ) é dada pela expressão 3.10:

$$H_{dif} = K_d H_i \quad (3.10)$$

Quando existe uma rápida diminuição de profundidade, a altura de onda aumenta até que a sua declividade atinge um valor limite e a onda acaba por rebentar numa região que se denomina de zona de rebentação.  $d_b$  como já foi referido anteriormente representa uma aproximação à

profundidade de rebentação e depende da inclinação do fundo e do  $\lambda$  e pode ser dado pela aproximação 3.11 (Coelho, 2005)

$$d_b = \frac{H_0}{0.78} \quad (3.11)$$

A forma como a onda rebenta (tipo de rebentação) é função, essencialmente, do pendor da praia e declividade da onda. Existem assim três tipos de rebentação e são eles: rebentação progressiva, mergulhante e oscilante. Na rebentação progressiva a crista da onda sofre deformação e destabiliza-se resultando na formação de novelos de espuma que deslizam na frente da onda, a distância percorrida por este tipo de rebentação é grande), ocorre geralmente em praias com declives suaves (APRH, 2007b). Na rebentação mergulhante a crista da onda tende a enrolar-se em espiral e cai de forma ruidosa, rápida e violenta, sobre a cava (APRH, 2007b). Característica de praias com declives intermédios. Por último na rebentação oscilante a crista da onda não chega efetivamente a rebentar, verifica-se apenas uma forte deformação, pelo que se verifica na praia grande oscilação do nível da água. Grande parte da energia associada à onda é refletida no litoral, voltando para o oceano, interferindo com as ondas incidentes, resultando muitas vezes na geração de ondas estacionárias. Este tipo de rebentação corresponde a praias de declives acentuados (APRH, 2007b).

O tipo de rebentação depende da inclinação da praia ( $\beta$ ) e da declividade da onda. O parâmetro de Battjes ( $\xi_0$ ), também utilizado por Iribarren é definido pela expressão 3.12, admitindo inclinações uniformes dos fundos e as características de onda ao largo (Coelho, 2005):

$$\xi_0 = \tan(\beta) \left( \frac{H_0}{L_0} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.12)$$

A inclinação da praia mais uma vez é medida na zona da face da praia<sup>2</sup> até a crista da berma com auxílio do levantamento topo-batimétrico já referido, referente ao ano de 1999.

Se:

$$\begin{aligned} \xi_0 < 0.5 &\rightarrow \text{Rebentação progressiva} \\ 0.5 < \xi_0 < 3.3 &\rightarrow \text{Rebentação mergulhante} \\ \xi_0 > 3.3 &\rightarrow \text{Rebentação oscilante} \end{aligned}$$

O espraçamento é a fase de propagação após a rebentação da onda. De acordo com Coelho (2005) o espraçamento pode ser entendido como a cota máxima de elevação da água medida na vertical em relação ao nível de repouso. No processo de espraçamento podem ocorrer velocidades do fluido muito elevadas, que podem provocar erosão dos fundos da zona de espraçamento, quer sobre praias naturais, quer sobre estruturas costeiras (Sancho, 2002). A quantificação do espraçamento é também importante no projeto de obras costeiras, pois se a cota máxima de espraçamento for superior à cota de coroamento da estrutura de defesa, esta é galgada. O comportamento numa estrutura de defesa costeira é diferente do comportamento numa praia natural e pode ser dado pela fórmula de Hunt (3.13) (Sancho, 2002):

---

<sup>2</sup> Zona da praia em posição inferior à crista da berma de praia, que normalmente está exposta à atuação da rebentação e do espraço das ondas. Faixa emersa na maré baixa e submersa na maré alta (Adaptado de APRH, 2007c)

$$R_{2\%} = 8H_0 \tan(\beta) \quad (3.13)$$

Nesta expressão  $\beta$  diz respeito ao pendore do talude da estrutura.

Em praias naturais o espraio máximo (representado como o espraio que é excedido somente por 2% das ondas, em agitação irregular) é dado pela expressão 3.14 (trabalho apresentado por Holman (1986) in Coelho (2005)):

$$R_{2\%} = 0.27(\tan(\beta) H_0 L_0)^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

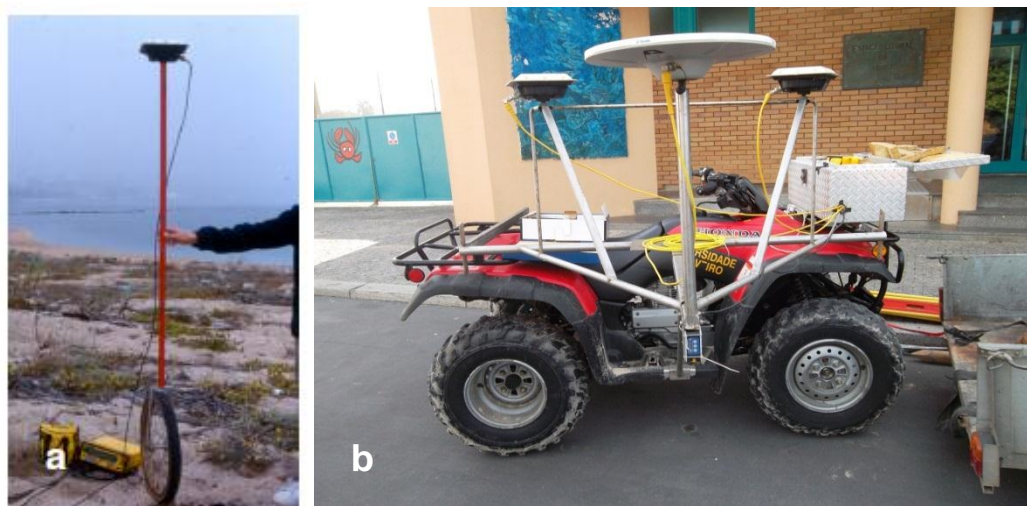
Foi utilizada esta expressão uma vez que representa melhor as praias do tipo dissipativo (Ruggiero *et al.*, 1997, in Coelho, 2005).

### 3.2. Topografia de praia

A aquisição de dados topográficos da praia emersa foi feita através da realização de várias campanhas de observação, 28 no total, que ocorreram entre Fev-01 e Out-11, com uma interrupção nos anos 2009 e 2010 (tabela 6). Estes levantamentos foram efetuados ao longo de uma extensão de 900 m na Praia da Aguda, de 2001 a Nov-03, aumentando-se posteriormente para cerca de 2000 m, de Nov-03 até ao final com o objetivo de avaliar a erosão observada na Praia da Granja, após a construção do quebra-mar. Nos primeiros anos (2001-2005) realizaram-se em média 4 a 5 campanhas de observação por ano; a partir de 2006 apenas existe 1 ou 2 campanhas por ano. As campanhas foram realizadas sempre que possível em períodos de maré baixa em marés vivas de forma a ser possível a comparação de uma maior área e de volume sedimentar entre as várias campanhas.

A metodologia de monitorização adotada foi a do GPS em modo diferencial (DGPS) recorrendo a uma estação de referência local, que neste caso se situa na ELA. De 2001 a 2006 foi utilizado o sistema GPS antena-simples transportado pelo operador. O sistema consiste numa antena cinemática que é fixa a um bastão na base do qual é adaptada uma roda que é transportada pelo observador na vertical (Baptista, 2006) (Fig. 13a). De 2006 a 2008 foi adotado o sistema de GPS multi-antena adaptado a um veículo tipo moto-quatro, que consiste em duas antenas GPS colocadas transversalmente à direção do movimento do veículo e suportadas por uma roda lateral (Baptista *et al.*, 2008). Este sistema permite compensar erros associados à componente de inclinação lateral do veículo (aquela que é mais solicitada num levantamento de campo). Em 2011 foi usado o sistema de monitorização INSHORE (Baptista *et al.*, 2011) que consiste na utilização de três antenas GPS (Fig. 13b) no veículo (compensa as componentes de inclinação lateral e de mergulho do veículo) e um distanciômetro laser que substitui a roda do sistema anterior.

Em cada campanha de monitorização foram realizadas grelhas de perfis longitudinais e transversais, desde o limite da maré até ao limite superior da praia.



**Figura 13 - Sistemas GPS utilizados das campanhas de observação. Sistema antena-simples (a) sistema INSHORE (b)**

Como foi referido anteriormente, na tabela 6 é apresentada a calendarização das campanhas de monitorização realizadas entre 2001 e 2011. As diferentes cores de fundo representam os períodos homólogos considerados atendendo à disposição de campanhas. Esta definição de períodos homólogos visa a realização de uma análise de dados entre os diferentes anos, como se verá na secção dedicada aos balanços sedimentares (4.2.3). Para cada ano foram considerados três períodos distintos: final do Verão marítimo (vermelho); meados de Inverno marítimo (verde) e final de Inverno marítimo (amarelo). A azul observa-se duas campanhas que se encontram nos extremos do período de monitorização, uma no período inicial (23 de Outubro de 2001) e outra a 31 de Outubro de 2011 que foi a última campanha realizada, a qual permitiu perceber as principais alterações existentes.

**Tabela 6 - Calendarização das 28 campanhas de monitorização efetuadas na área de estudo. As diferentes cores de sombreado identificam os períodos homólogos considerados na análise de dados.**

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2011
12 Feb	16 Mar	22 Jan	26 Mar	26 Jan	-	8 Mar	13 Mar	-
17 Mar	27 Mai	17 Mar	19 Abr	25 Fev	-	-	-	-
26 Set	10 Jul	16 Jun	16 Jun	23 Mai	-	-	-	-
23 Out	12 Set	12 Set	29 Set	-	-	-	-	31 Out
-	14 Nov	26 Nov	25 Nov	15 Dez	7 Dez	22 Dez	-	-

Final de Inverno marítimo

Final de Verão marítimo

Período intermédio de Inverno marítimo

Extremos do período de monitorização



### 3.3. Processamento de dados

Os dados foram previamente processados (processamento GPS com obtenção de coordenadas relativas à superfície do terreno) e disponibilizados para este trabalho sob o formato de texto (txt). Consistem para cada campanha num conjunto de três colunas (M, P e h) correspondendo o M e P às coordenadas planimétricas referidas ao Datum 73 e o h à altura referida ao NMM o qual foi obtido a partir de um ajuste local com base em marcas de nivelamento geodésico (datum altimétrico de Cascais).

### 3.4. Modelos digitais do terreno (MDT)

De forma a gerar superfícies contínuas 3D sob a forma de Modelos Digitais do Terreno (MDTs) a partir dos perfis longitudinais e transversais da praia emersa, recorreu-se a tecnologias de informação geográfica. Para este estudo foi utilizado o módulo 3D *Analyst* do programa ArcGis 10. Para a geração dos MDTs utilizou-se um método de interpolação que recorre a redes de triângulos irregulares (triangulação de Delaunay) denominado *Triangular Irregular Networks* (TIN) que define de forma aproximada, o relevo do terreno (Oliveira, 2004).

Para propósitos de representação visual os MDTs foram implantados sobre um mosaico de fotografias aéreas de 2005, as quais têm associado um erro de georreferenciação de 1 m.

### 3.5. Cálculo de volumes

A partir dos MDTs, foi feito o cálculo do volume para cada um deles, considerando como limite inferior de cálculo à cota do NMM, recorrendo ao módulo *Surface Analysis* do ArcGis 10. O volume foi calculado para a extensão total da praia, assim como por setores, para uma melhor análise dos resultados, definidos de acordo com a proximidade ao quebra-mar. Numa primeira fase do estudo definiram-se quatro setores (entre Fev-01 a Set-03) e, posteriormente, com a ampliação da área de monitorização até à Praia da Granja foi acrescentado um quinto setor (Fig. 14). Ainda na Figura 14 são apresentados os comprimentos médios de cada setor

Para uma análise da componente transversal da praia, foi da mesma forma calculado o volume, neste caso por cotas, considerando duas zonas distintas, a baixa praia (*foreshore*) entre a cota 0 e 2 m e a média praia (*backshore*), dos 2 m até a cota máxima registada como mostra a Figura 15.



Figura 14 - Litoral da Aguda e Granja com indicação das cinco zonas em estudo (a vermelho as quatro zonas consideradas em todas as campanhas e a verde a zona apenas considerada a partir de Nov-03). Adaptado de [www.googleearth.com](http://www.googleearth.com).

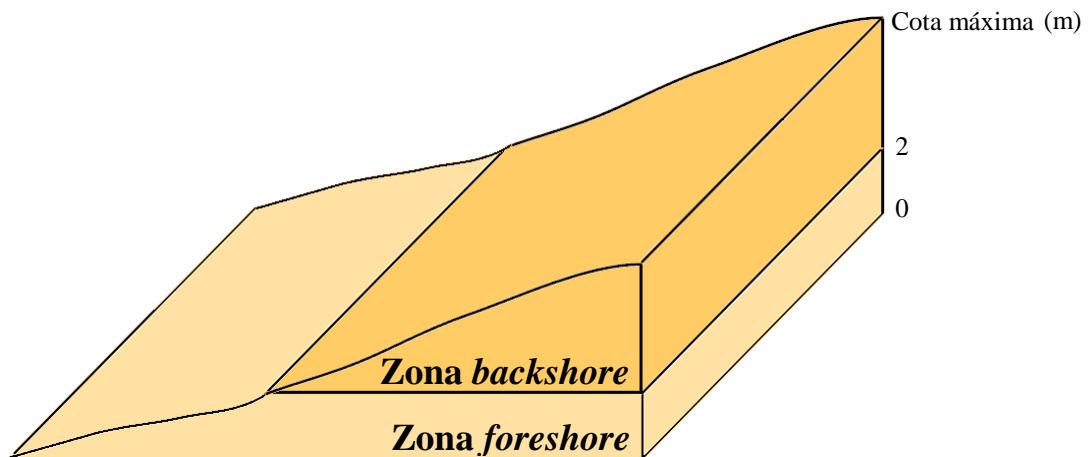


Figura 15 – Esquema da praia, e zonas consideradas no cálculo de volumes por cotas

Com os dados do volume para a extensão total de praia assim como para cada um dos setores foi feita a representação gráfica da evolução do volume por metro linear de praia para todas as campanhas, de forma a analisar o comportamento dos setores antes, durante e após a construção do quebra-mar. Os dados de volume foram também utilizados no cálculo dos balanços sedimentares.

### 3.6. Balanço sedimentar

O balanço de sedimentos resume-se à aplicação do princípio da continuidade e conservação de massa para os sedimentos que se encontram no litoral. Desta forma envolve as contribuições sedimentares assim como as perdas dos mesmos num dado setor litoral (Bowen & Inman, 1966). Como acontece em qualquer sistema de contabilidade, a diferença algébrica entre as fontes e sumidouros de sedimentos de cada setor, num balanço sedimentar, deve ser igual à taxa de variação de volume de sedimentos que ocorre nessa região como mostra a seguinte equação (3.15) este modelo conceitual para os balanços sedimentares foi desenvolvido por Rosati & Kraus (1999):

$$\Sigma Q_{source} - \Sigma Q_{sink} - \Delta V + P - R = residual \quad (3.15)$$

em que  $Q_{source}$  e  $Q_{sink}$  são taxas de transporte, em que a primeira age como fonte (ganho) e a segunda como sumidouro (perde),  $\Delta V$  é a variação de volume do setor, P e R dizem respeito aos volumes de sedimentos colocados e removidos, respetivamente, de cada setor costeiro, por fim o residual representa o grau de balanço da célula (Rosati, 2005).

De uma forma simples o balanço resume-se à variação de volume existente num dado setor num intervalo de tempo ficando a equação 1 resumida a:

$$\Sigma Q_{source} - \Sigma Q_{sink} + P - R = \Delta V + residual \quad (3.16)$$



## Capítulo 4

### Resultados e discussão

#### 4.1. Agitação marítima

Nesta seção pretende-se apresentar e caracterizar os principais parâmetros da agitação marítima na zona em estudo. É também apresentado um estudo relativo à ocorrência de temporais durante o período de monitorização, assim como relativamente aos fenómenos de alteração da agitação na propagação em direção à costa (empolamento, refração, difração, rebentação e espreamento).

##### 4.1.1. Rumos dominantes

Para o tratamento da informação relativa aos rumos da ondulação foram definidos vários intervalos. Estes intervalos correspondem a setores, aqui também designados por quadrantes, de 22.5°, centrados na direção que dá o nome ao intervalo como se pode observar na Figura 16A. Esta definição de intervalos permite a comparação com os valores de Coelho (2005) onde são analisados dados com base na boia ondógrafo de Leixões para o intervalo de anos entre 1993 e 2003.

Pode verificar-se que no período de aproximadamente 7 anos, entre 2001 e 2007, a ondulação mais frequente é de NW com 45.05% das ocorrências, seguida da ondulação de WNW com 34.60% dos registos. Analogamente, o rumo de S com 0.05% é o que ocorre com menos frequência, seguido pelo rumo de SSW com 0.10%. De referir que a ondulação proveniente do quadrante NW representa 89.04% da frequência total de ocorrência, sendo que apenas 3.2% se referem a ondulação proveniente do quadrante SW, os restantes 7.76% designam a percentagem de ondulação com direção W. Estes resultados aproximam-se dos valores obtidos por Coelho (2005), como se pode verificar na Figura 16B.

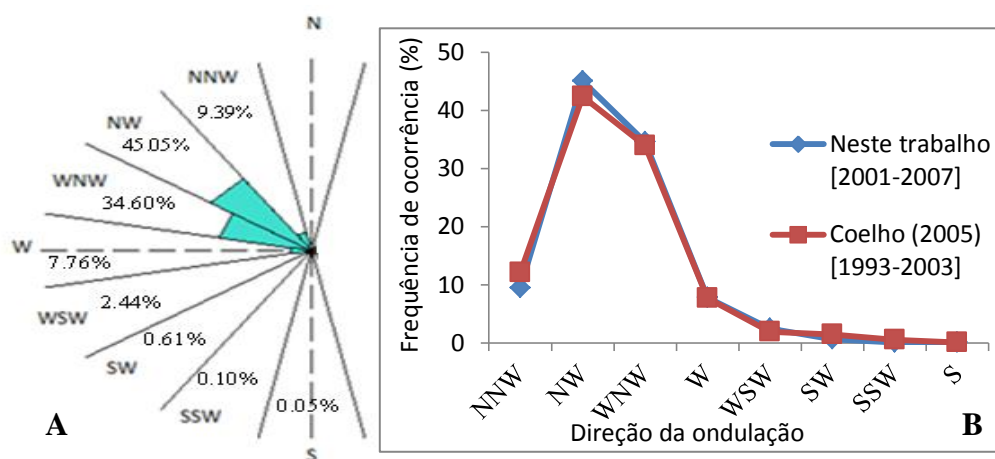


Figura 16 - A. Rosa de rumos com a representação de intervalos da direção de ondulação (dados do IH, para a boia de Leixões recolhidos entre 2001 e 2007). B. Comparação da direção de propagação das ondas para o período 2001 – 2007 e para o período de 1993 – 2003

Numa análise da distribuição de rumos ao longo dos meses do ano (Fig. 17) verifica-se que não existe um padrão no comportamento dos mesmos bem definidos. De referir que os meses de Outubro e Novembro têm um número diminuto de registos, aproximadamente 125 registos, relativamente aos restantes meses do ano, cuja média é cerca de 172 registos.

Apesar de não se observar um comportamento bem definido por parte do rumo ao longo dos meses é evidente que a ondulação proveniente de S, SSW e SW apenas ocorre em meses de Inverno, sendo que não há registos de ondas provenientes de WSW nos meses de Julho e Agosto. Nos meses de Verão, verifica-se que existe um predomínio da ondulação proveniente do quadrante N, onde as direções NW e WNW têm uma maior percentagem de ocorrência, acrescenta-se que ondas provenientes do setor NW atingem a sua frequência máxima nos meses de Maio, Julho, Agosto e Novembro diminuindo nos restantes meses. Com isto, o setor NW é predominante nos meses: Abril; Maio; Julho; Agosto; Setembro; Outubro; Novembro e Dezembro. Por sua vez o setor WNW é predominante nos meses: Janeiro; Fevereiro; Março e Junho. No que diz respeito ao setor W verifica-se que este atinge um valor mínimo de ocorrência durante os meses de Julho e Agosto e máximo nos meses de Inverno marítimo, sendo que este apenas ultrapassa a barreira dos 10% de ocorrências durante os meses de Março, Outubro e Dezembro. Também para Coelho (2005) o quadrante W apenas excede os 10% de ocorrências em dois meses de Inverno (Abril e Dezembro).

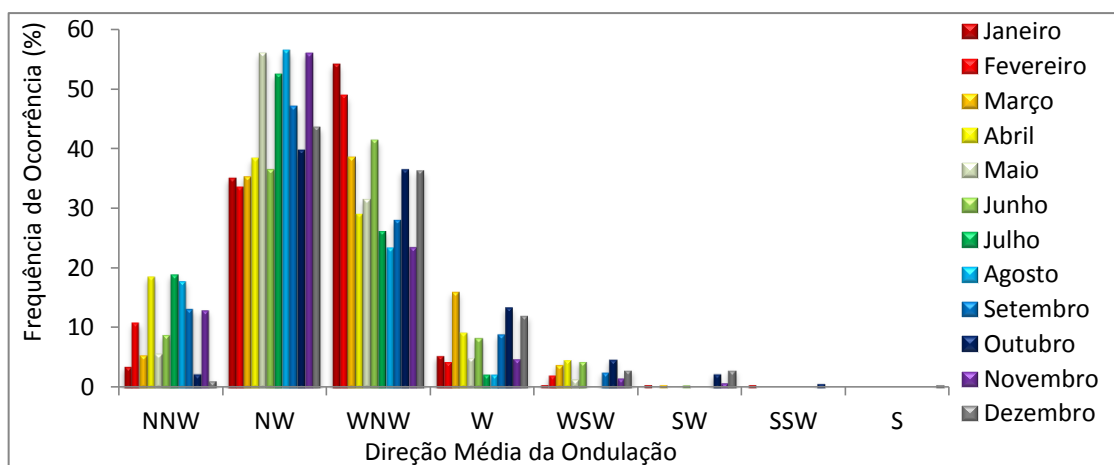


Figura 17 - Distribuição mensal da direção média da ondulação (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007)

#### 4.1.2. Altura significativa e períodos de onda

Tal como nos dados de direção da ondulação, também os dados de alturas de onda significativas e respetivos períodos foram agrupados em intervalos de um metro e um segundo, respetivamente. Considerou-se os intervalos abertos à esquerda e fechados à direita de forma a ser possível, novamente, a comparação dos resultados obtidos neste estudo com os resultados de Coelho (2005). A Figura 18 corresponde à representação gráfica dos registos de alturas de onda significativa, onde se pode verificar que existe um predomínio do intervalo de alturas entre 0.5 – 1.5 m com 36.73% da frequência de ocorrência seguindo-se o intervalo 1.5 – 2.5 m com 36.53%, uma frequência de ocorrência bastante próxima do intervalo predominante. Analogamente observa-se que valores de

altura inferiores a 0.5 m e no intervalo de 8.5 – 9.5 m são as menos frequentes. De referir que alturas significativas de onda entre os 0.5 m e 3.5 m representam cerca de 90% das ocorrências totais, sendo os restantes 10% distribuídos pelos demais intervalos.

Relativamente aos valores apresentados por Coelho (2005), este refere que a classe mais representativa de altura de onda significativa se situa entre os 0.5 m e 1.5 m com 40.3% das ocorrências seguindo-se o intervalo de 1.5 m a 2.5 m com 31.7%. A diferença de percentagens obtidas por Coelho (2005) para estes dois intervalos, cerca de 9% é significativamente superior ao obtido neste estudo que é de apenas 0.2%.

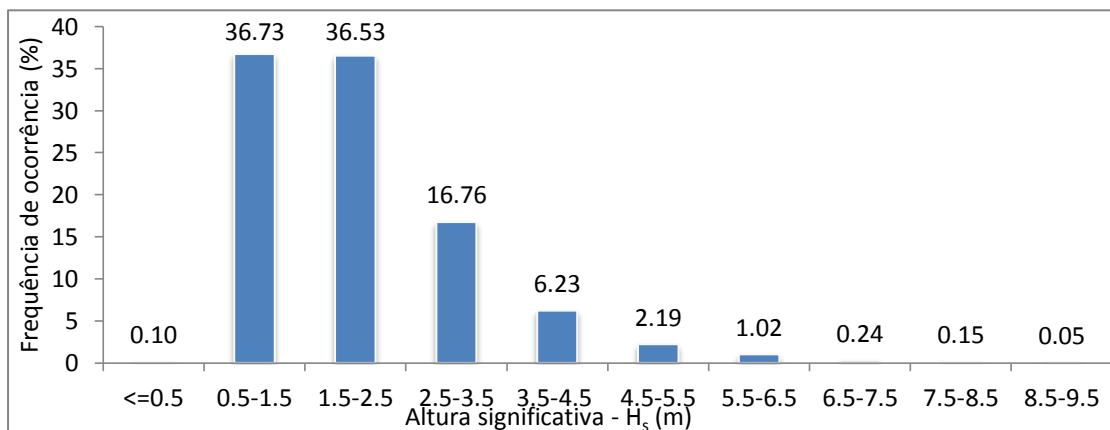


Figura 18 - Alturas de onda significativa (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007)

Torna-se importante na análise destes registos, uma interpretação dos dados a nível mensal (Fig. 19). Mais uma vez é evidente a diferença existente entre os meses de Verão e de Inverno. Nos meses de Verão, a média de altura de onda significa desce, predominando os intervalos 0.5 a 1.5 m e 1.5 a 2.5 m, sendo que o primeiro intervalo referido apresenta uma maior discrepância entre os valores dos diferentes meses relativamente ao segundo intervalo. Não existe nenhum registo acima dos 4.5 m nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro.

Nos valores de altura de onda significativa superiores a 2.5 m, verifica-se um aumento da percentagem de ocorrência destes nos meses de Inverno e sucessiva diminuição à medida que se aproximam os meses de Verão. Apenas existe um registo superior a 8.5 m que ocorreu no mês de Março.

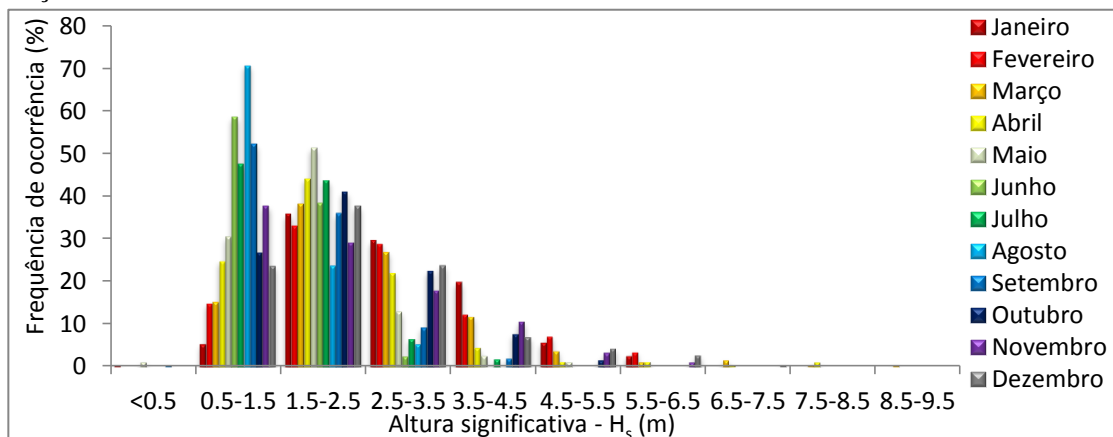


Figura 19 - Distribuição mensal dos dados de altura de onda significativa (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007)

No que diz respeito ao  $T_m$  das ondas, representado na Figura 20, observa-se que as classes mais representativas são 5 - 6 s e 6 - 7 s com 23.23% e 21.28% das ocorrências, respetivamente. A percentagem de ocorrência de valores de  $T_m$  tem tendência para aumentar até ao intervalo 5 - 6 s, seguindo-se uma diminuição à medida que aumenta o valor de  $T_m$ . De referir que 74.9% das ocorrências verificam-se para valores inferiores a 8 s, sendo os restantes 25.1% distribuídos pelas restantes classes com valores mais elevados.

Constata-se desta forma que as alturas de onda mais elevadas correspondem a períodos médios de onda mais elevados, como é o caso dos meses de Inverno. Analogamente, os valores de  $H_s$  mais baixos (meses de Verão) corresponde a valores de  $T_m$  também mais baixos, em que ambos possuem uma percentagem de ocorrência mais elevada do que o caso descrito anteriormente, respetivo aos meses de Inverno.

No que diz respeito aos valores apresentados por Coelho (2005), verifica-se que os períodos médios mais significativos situam-se entre os 8 - 9 s e 9 - 10 s, sendo que a percentagem de valores inferiores a 8 s é de 30.9% das ocorrências. Com isto, existe uma discrepância significativa entre os valores obtidos neste estudo e os valores obtidos por Coelho (2005). Neste estudo as percentagens máximas de ocorrências obtidas são superiores às obtidas por Coelho (2005), assim como, neste caso, existe uma diminuição da ocorrência de valores de períodos médios de onda mais elevados, como se todos os valores sofressem um desvio para a esquerda em relação aos valores obtidos por Coelho (2005). Todavia, os resultados obtidos neste estudo relativos ao  $T_m$  estão de acordo com os valores obtidos por Costa *et al.* (2001) para estações localizadas na costa W portuguesa (Figueira da Foz (Jun-90 a Jan-96) e Sines (Mai-88 a Dez-00)), onde o período predominante localiza-se no intervalo 5-7 s com uma percentagem de ocorrência pouco superior a 40% nas duas estações.

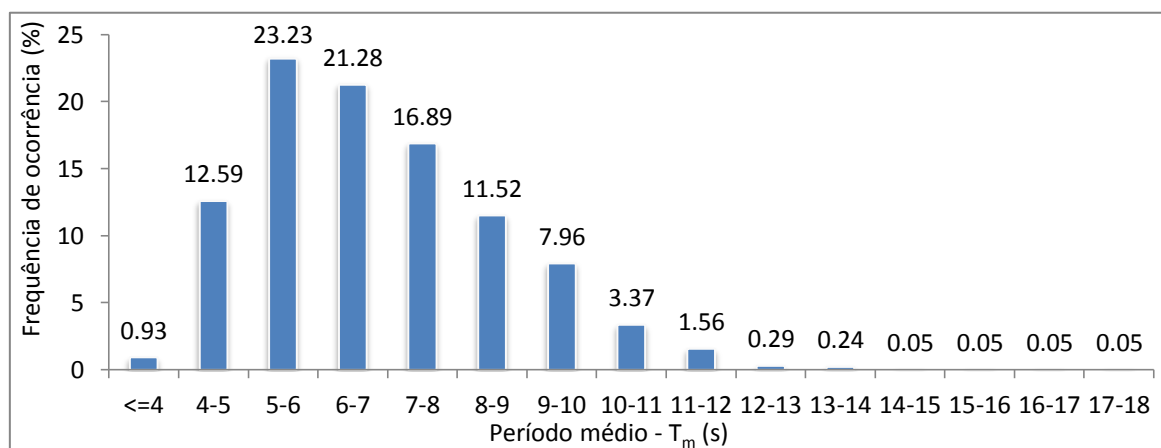
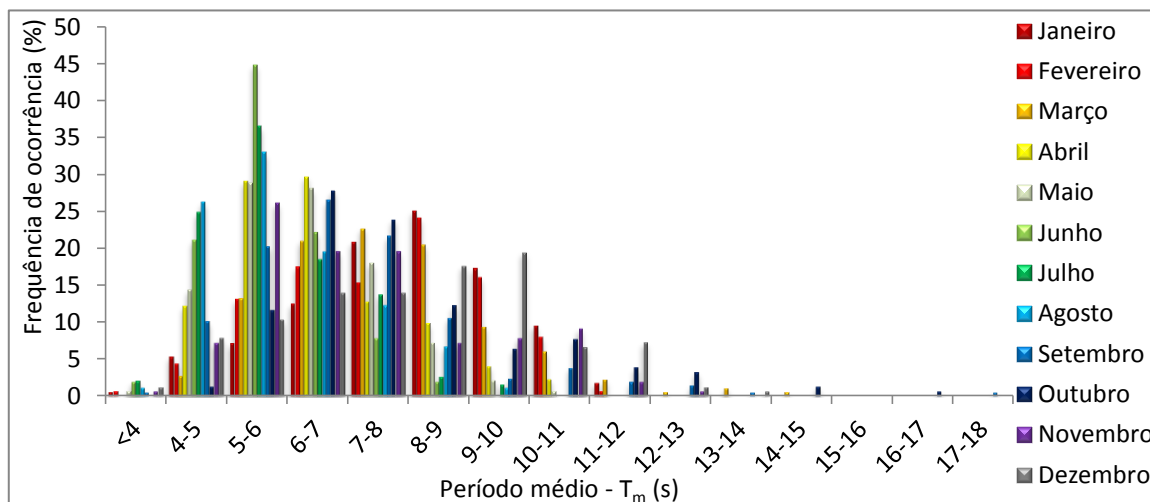


Figura 20 - Período de onda médio (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007)

Analisando a distribuição mensal do  $T_m$  (Fig. 21), observa-se que nos meses de Verão os períodos com maior percentagem de ocorrência são 5 - 6 s, 4 - 5 s e 6 - 7 s (atingindo um máximo de  $\approx 45\%$  de ocorrências do mês de Junho no intervalo de 5 - 6 s). Nos meses de Inverno verifica-se um aumento da percentagem de ocorrência de períodos médios mais elevados, sendo que os intervalos com maior frequência de ocorrência nesta altura do ano são: 7 - 8 s, 8 - 9 s e 9 - 10 s (com cerca de 19.4% das ocorrências do mês de Dezembro no intervalo 9 - 10 s). Apenas existe



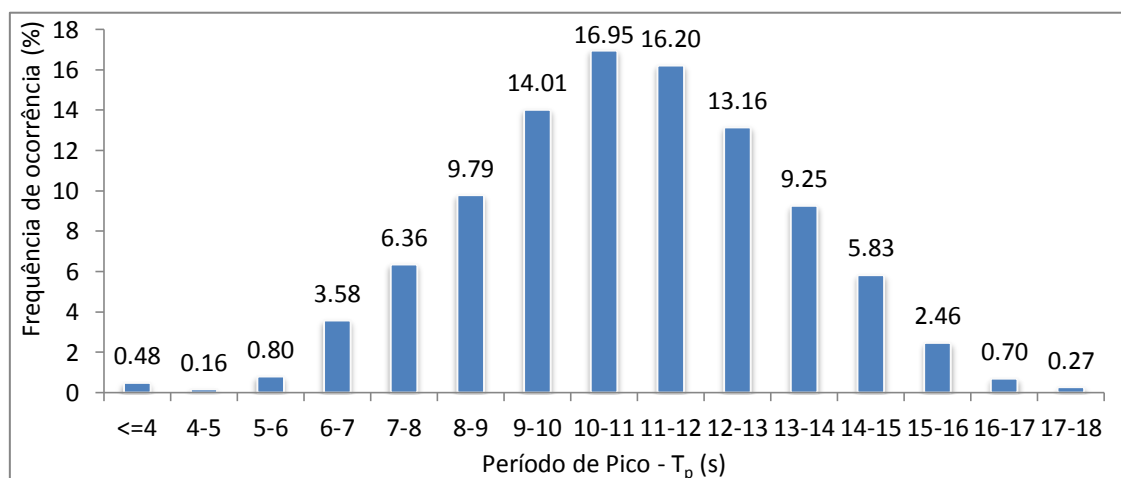
dois registos para valores de  $T_m$  superiores a 16 s, um dos registos situa-se no intervalo 16 – 17 s e ocorreu no mês de Outubro, outro situa-se no intervalo de 17 – 18 s, que se registou no mês de Setembro.



**Figura 21 - Distribuição mensal do período de onda média (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007)**

Também o  $T_p$  de onda foi analisado neste trabalho como mostra a Figura 22. Verifica-se que a distribuição dos valores de  $T_p$  de onda segue uma lei assimétrica com o centro localizado no intervalo intermédio de toda a série. O intervalo de valores com uma maior frequência de ocorrência situa-se entre os 10 – 11 s e 11 – 12 s, com 16.95% e 16.20% das ocorrências respetivamente. Os intervalos que contêm os valores entre 9 e 13 s (4 intervalos) representam cerca de 60.3% do total de ocorrências, sendo os restantes 40% distribuídos pelos restantes onze intervalos.

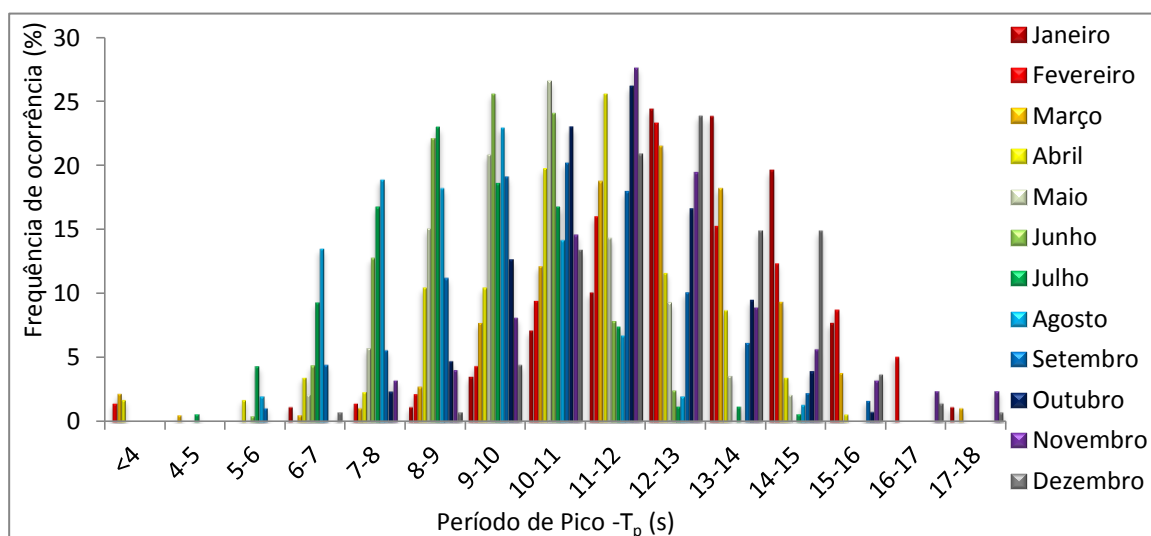
Neste caso, Coelho (2005) não possui uma análise de dados de  $T_p$ .



**Figura 22 - Período de pico (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007)**

No que diz respeito à análise mensal do  $T_p$  (Fig. 23), é clara a diferença entre os valores nos meses de Verão e Inverno. Os períodos de pico registados nos meses de Verão são inferiores, como era previsto, aos registados nos meses de Inverno, sendo as frequências máximas observadas nos

intervalos 9 – 10 s, 8 – 9 s e 10 – 11 s. Analogamente, nos meses de Inverno regista-se um aumento da frequência de ocorrência de períodos de picos mais elevados, sendo que os intervalos com um maior número de registos são: 11 – 12 s, 12 – 13 s e 13 – 14 s. Neste caso, oito registos são superiores a 17 s, e foram observados dois no mês de Janeiro, dois no mês de Março, três no mês de Novembro e um no mês de Dezembro (meses de Inverno marítimo). O intervalo 4 – 5 s é o que menos registos possui, apenas existe a ocorrência de dois registos, nos meses de Março e Julho.



**Figura 23 - Distribuição mensal do período de pico das ondas (dados do IH, para a boia de Leixões s entre 2001 e 2007)**

Na tabela 7 é apresentado o número de registos por cada intervalo de direção e  $H_s$  de onda<sup>3</sup>. Constata-se que existe um maior número de registos para o intervalo de alturas de 1.5 – 2.5 m e direção NW, representado cerca de 17.6% do total de ocorrências. De referir, que o rumo NW com ondas entre 0.5 a 2.5 m de altura representa cerca de 33.8% da frequência de ocorrência. No entanto, ao adicionar as mesmas alturas de onda do rumo WNW, verifica-se que a percentagem de ocorrência sobe para 58.23%, mais de metade dos registos obtidos.

Verifica-se que à medida que se aproxima do quadrante S o valor de  $H_s$  de onda diminui, como é possível verificar pela ausência de registos nestes intervalos, como por exemplo, nos quadrantes SSW e S apenas existem três registos que não ultrapassam o intervalo 2.5 - 3.5 m de  $H_s$  de onda.

De notar que o quadrante NW apenas é ultrapassado no número de registos, para os intervalos 3.5 - 4.5 m e 4.5 - 5.5 m com ondas provenientes de WNW.

<sup>3</sup> Para a análise conjunta dos parâmetros nas tabelas que se seguem, não foram considerados os mesmos dados que nos histogramas, uma vez que neste caso (tabelas) sempre que um dos parâmetros possui um registo nulo, a posição deste valor é retirada nos restantes parâmetros.

**Tabela 7 - Número de registos para intervalos de alturas de onda significativa e respetivos rumos (dados do IH, para a boia de Leixões entre 2001 e 2007)**

$\begin{matrix} Dir (^{\circ}) \\ H_s (m) \end{matrix}$	<i>S</i>	<i>SSW</i>	<i>SW</i>	<i>WSW</i>	<i>W</i>	<i>WNW</i>	<i>NW</i>	<i>NNW</i>	<i>N</i>	$\Sigma$
<b>&lt;0.5</b>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	<b>2</b>
<b>0.5 - 1.5</b>	1	0	0	18	57	218	303	88	0	<b>685</b>
<b>1.5 - 2.5</b>	0	1	4	12	45	239	329	64	0	<b>694</b>
<b>2.5 - 3.5</b>	0	1	3	7	32	106	141	17	0	<b>307</b>
<b>3.5 - 4.5</b>	0	0	2	7	7	50	44	1	0	<b>111</b>
<b>4.5 - 5.5</b>	0	0	0	1	3	26	9	3	0	<b>42</b>
<b>5.5 - 6.5</b>	0	0	0	0	2	9	9	0	0	<b>20</b>
<b>6.5 - 7.5</b>	0	0	0	0	0	1	4	0	0	<b>5</b>
<b>7.5 - 8.5</b>	0	0	0	0	0	0	1	2	0	<b>3</b>
<b>8.5 - 9.5</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	<b>1</b>
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>45</b>	<b>146</b>	<b>651</b>	<b>840</b>	<b>176</b>	<b>0</b>	<b>1870</b>

Foi também representado o número de registos por cada intervalo de direção e  $T_p$  da onda como se pode observar na tabela 8. Como seria de esperar, as ondas provenientes de NW são as que possuem maior frequência de ocorrência sendo o intervalo de 11 - 12 s o que regista um maior número de registos dentro desta direção, com cerca de 7.75% do total de registos. Para a mesma direção, se for tido em conta os valores de  $T_p$  entre 9 s e 13 s verifica-se que estes representam 28% dos registos, considerando estes mesmos intervalos mas juntando os registos com direção WSW esta percentagem estende-se para os 49.5% do total de dados.

Tal como para  $H_s$ , os períodos de pico mais elevados não têm praticamente representação no quadrante S, veja-se que para as direções SSW e S não se ultrapassa os 10 s de  $T_p$ , sendo que apenas existe um registo para o intervalo 9 - 10 s nestas direções. Também se observa que para períodos de pico mais pequenos, até os 6 s, apenas existem registos de ocorrência destes no quadrante N.

De notar que para o intervalo alargado de 13 s a 17 s (períodos de pico mais elevados) a direção predominante é WNW, com cerca de 9.14% dos registos totais, assim como para valores de  $T_p$  inferiores a 4 s a direção predominante é NNW.

**Tabela 8 - Número de registos de período de pico e respetivos rumos (dados do IH, para a boia de Leixões recolhidos entre 2001 e 2007)**

$\begin{matrix} Dir (^{\circ}) \\ T_p (s) \end{matrix}$	<i>S</i>	<i>SSW</i>	<i>SW</i>	<i>WSW</i>	<i>W</i>	<i>WNW</i>	<i>NW</i>	<i>NNW</i>	<i>N</i>	$\Sigma$
<4	0	0	0	0	0	0	4	5	0	<b>9</b>
4 - 5	0	0	0	0	0	0	2	1	0	<b>3</b>
5 - 6	0	0	0	0	0	1	10	4	0	<b>15</b>
6 - 7	1	1	0	4	2	5	29	25	0	<b>67</b>
7 - 8	0	0	1	4	6	21	57	30	0	<b>119</b>
8 - 9	0	0	3	9	22	49	69	31	0	<b>183</b>
9 - 10	0	1	3	14	27	78	119	20	0	<b>262</b>
10 - 11	0	0	2	7	23	123	138	24	0	<b>317</b>
11 - 12	0	0	0	5	25	105	145	23	0	<b>303</b>
12 - 13	0	0	0	2	17	96	122	9	0	<b>246</b>
13 - 14	0	0	0	0	8	82	80	3	0	<b>173</b>
14 - 15	0	0	0	0	9	56	43	1	0	<b>109</b>
15 - 16	0	0	0	0	7	25	14	0	0	<b>46</b>
16 - 17	0	0	0	0	0	8	5	0	0	<b>13</b>
17 - 18	0	0	0	0	0	2	3	0	0	<b>5</b>
$\Sigma$	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>45</b>	<b>146</b>	<b>651</b>	<b>840</b>	<b>176</b>	<b>0</b>	<b>1870</b>

Por fim, na tabela 9 observa-se o número de registos correspondente a cada intervalo de  $H_s$  e  $T_p$ . É visível que o intervalo de período de pico 11 - 12 s e intervalo de  $H_s$  de onda 1.5 - 2.5 m possui um maior número de registos com cerca de 7.75% das ocorrências, sendo que o intervalo de 10 - 11 s para o mesmo intervalo de  $H_s$  possui também, um número de registos muito próximo do anterior intervalo de  $T_p$  mencionado.

Se for considerado o intervalo alargado dos registos de  $T_p$  de 9 s a 13 s para alturas de onda compreendidas no intervalo 1.5 s a 2.5 s, verifica-se que estes representam cerca de 26.8% do total de registos, e se a este intervalo alargado se juntar o intervalo de  $H_s$  de 0.5 - 1.5 s, observa-se que esta percentagem sobe para os 48% dos registos, ou seja estes intervalos alargados de  $T_p$  e  $H_s$  representam quase metade do total de registos.

De referir que à medida que o valor de altura de onda aumenta, possui-se um número de registos de períodos de pico mais elevado, exceto para os valores máximos de altura de onda que ocorrem para um  $T_p$  reduzido, o que pode estar relacionado com a chegada de núcleos de baixa pressão ou superfícies frontais.

**Tabela 9 - Número de registos de  $T_p$  e respetivas alturas significativas (dados do IH, para a boia de Leixões recolhidos entre 2001 e 2007)**

$\frac{H_s(m)}{T_p(s)}$	<0.5	0.5 - 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 3.5	3.5 - 4.5	4.5 - 5.5	5.5 - 6.5	6.5 - 7.5	7.5 - 8.5	8.5-9.5	$\Sigma$
<4	0	0	0	0	0	2	0	3	3	1	<b>9</b>
4 - 5	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	<b>3</b>
5 - 6	0	12	1	1	0	0	1	0	0	0	<b>15</b>
6 - 7	0	52	13	1	0	0	1	0	0	0	<b>67</b>
7 - 8	0	89	29	1	0	0	0	0	0	0	<b>119</b>
8 - 9	1	112	61	7	1	1	0	0	0	0	<b>183</b>
9 - 10	0	134	109	17	1	1	0	0	0	0	<b>262</b>
10 - 11	0	132	140	38	7	0	0	0	0	0	<b>317</b>
11 - 12	1	95	145	50	11	1	0	0	0	0	<b>303</b>
12 - 13	0	36	108	79	16	6	1	0	0	0	<b>246</b>
13 - 14	0	17	56	66	29	5	0	0	0	0	<b>173</b>
14 - 15	0	1	18	36	34	15	4	1	0	0	<b>109</b>
15 - 16	0	3	12	8	11	8	4	0	0	0	<b>46</b>
16 - 17	0	0	2	3	1	2	5	0	0	0	<b>13</b>
17 - 18	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	<b>5</b>
$\Sigma$	<b>2</b>	<b>685</b>	<b>694</b>	<b>307</b>	<b>111</b>	<b>42</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1870</b>

#### 4.1.3. Temporais

Os temporais persistentes são eventos bastantes importantes na morfodinâmica costeira, uma vez que potenciam as trocas transversais no sentido da praia emersa para a praia submersa. Na tabela 10 é apresentado o número de registos diários para todos os meses relativos a períodos de temporal para dados compreendidos entre 2001 e 2011. De referir que existem lacunas de dados da boia em alguns meses, principalmente de Inverno. O ano de 2001 e 2008 são os que possuem menor registo de dados. Em contrapartida, em 2002, 2007, 2009 e 2011 existem mais registos.

Os meses em que se regista um maior número de temporais é Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro, pelo contrário nos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro não há ocorrência de temporais. É espectável que o número de dias em que se registaram temporais anualmente, em determinados anos, seria superior ao apresentado uma vez que analisando a série de dados ao longo dos dez anos é visível que os meses em falta (exceto Julho e Agosto) são marcados por eventos deste género.

**Tabela 10 – Número de registos diários em condições de temporal ( $H_s > 4$ ) para os diferentes meses ao longo do período em estudo (0 – possui registos, mas não de temporais; (-) não se possui qualquer registo)**

	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>	$\Sigma$
<b>2001</b>	-	-	-	-	-	0	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>
<b>2002</b>	7	6	1	0	1	0	0	0	0	3	2	6	<b>26</b>
<b>2003</b>	10	4	4	2	0	0	0	0	0	0	-	-	<b>20</b>
<b>2004</b>	1	0	1	2	0	0	0	0	0	5	-	3	<b>12</b>
<b>2005</b>	3	2	7	4	0	0	-	-	0	1	-	-	<b>17</b>
<b>2006</b>	5	-	3	0	1	0	0	0	0	2	7	7	<b>25</b>
<b>2007</b>	2	7	6	0	1	0	0	0	0	0	0	4	<b>20</b>
<b>2008</b>	-	1	-	-	0	0	0	0	0	0	2	4	<b>7</b>
<b>2009</b>	12	5	5	0	0	0	0	0	0	0	11	4	<b>37</b>
<b>2010</b>	-	10	4	1	0	0	0	0	0	8	7	0	<b>30</b>
<b>2011</b>	2	5	0	1	2	0	0	0	0	2	4	5	<b>21</b>
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>31</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>22</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>216</b>

De forma a ter uma caracterização mais pormenorizada destes eventos anualmente, a tabela 11 apresentada a  $H_s$  média registada durante temporais e a persistência média anual.

O ano de 2009 foi o que registou um maior número de temporais que em média tiveram a persistência de 2.57 dias, ou seja aproximadamente 62 h, com uma  $H_s$  média de 5.33 m. O temporal mais persistente de toda a série também é em 2009, com duração de 12 dias de 15 a 26 de Janeiro e  $H_s$  máxima de 7.02 m, este valor é o máximo registado neste ano.

Ao longo de toda a série temporal é visível que cerca de 48%, correspondente a 44 episódios de temporais tiveram uma persistência superior a 48 h. A  $H_s$  máxima registada de 2001 a 2011 foi de 8.56 m registado em Março de 2005 num temporal com persistência de 7 dias registado no fim de Março.

Não é possível observar qualquer tendência de aumento ou diminuição de eventos de temporais ao longo dos anos, pois são acontecimentos bastantes irregulares diretamente relacionados com episódios atmosféricos. Apenas é possível observar que em 2009 e 2010 existiu uma maior

frequência e a  $H_s$  média também foi ligeiramente superior às dos restantes anos, exceto em 2005. Tal como noutros estudos anteriores, verifica-se a inexistência de temporais nos meses de Verão devido às condições climáticas e marítimas mais calmas do que as registadas nos meses de Inverno.

Esta distribuição anual dos dados relativos a eventos de forte agitação marítima é um auxílio à interpretação dos balanços sedimentares.

**Tabela 11 – Caracterização de períodos de temporais registados de 2001 a 2011 (dados do IH, para a boia de Leixões)**

<i>Ano</i>	$\overline{H_s}$ (m)	<i>Persistência (dias)</i>
<b>2001</b>	4	1
<b>2002</b>	4.69	3.38
<b>2003</b>	4.63	2.22
<b>2004</b>	4.64	1.33
<b>2005</b>	6.22	3.40
<b>2006</b>	4.92	2.08
<b>2007</b>	4.99	2.22
<b>2008</b>	4.99	1.75
<b>2009</b>	5.33	2.64
<b>2010</b>	5.09	2.72
<b>2011</b>	4.94	2.00

#### **4.1.4. Alteração da agitação na propagação em direção à costa**

Na tabela 12 são apresentados os resultados dos coeficientes  $K_s$  e  $K_r$ ,  $L_b$ ,  $\alpha_b$  e respetiva  $H_b$ , para  $H_0$  de 2 m,  $T_m$  de 7 s e direção média da ondulação de N 56 ° W. Considera-se que 1 m (ZH) é a profundidade que se regista próximo do quebra-mar no seu lado W e 0.5 m (ZH) a profundidade média na zona de sombra deste (com base na informação de um levantamento topo-batimétrico da Praia da Aguda de 1999). Verifica-se que o fenómeno que maior influência tem na transformação da altura de onda do largo até a costa é o empolamento como se pode ver pelos valores de  $K_s$  superiores a  $K_r$ . Relativamente aos resultados obtidos para a  $H_b$  e  $\alpha_b$ , verifica-se que à medida que a onda se aproxima da costa (em águas pouco profundas) a sua  $H_b$  aumenta e  $\alpha_b$  diminui. É ainda visível que à medida que a onda se desloca em direção à costa o efeito de empolamento aumenta e o efeito de refração diminui.

**Tabela 12 – Resultados da transformação da onda na sua propagação até a rebentação**

<b>d (m)</b>	<b><math>L_b</math> (m)</b>	<b><math>K_s</math></b>	<b><math>\alpha_0 = 37^\circ</math></b>		
			<b><math>\alpha_b</math> (°)</b>	<b><math>K_r</math></b>	<b><math>H_b</math> (m)</b>
10	59.82	0.92	28.07	0.95	1.74
5	45.66	0.98	21.05	0.93	1.81
1	21.63	1.35	9.79	0.90	2.43

Na praia em estudo existe um quebra-mar que serve de obstáculo à propagação da ondulação em relação à linha de costa sendo de referir que para além dos fenómenos de empolamento e refração, está também presente o fenómeno de difração. É visível através da aplicação das formulas 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10 que no limite da zona de sombra da obra, ou seja quando  $\gamma_1 = \gamma$ :

$$C_1=1; C_2=0; K_d=1 \text{ e } H_{dif}=H_0,$$

Ou seja nesta zona não existe alteração da altura de onda por efeito da difração. Da mesma forma quando  $r=0$ , ou seja no ponto de difração, a expressão 3.10 fica:

$$K_d=C_1+C_2 \Leftrightarrow K_d=C_1+1-C_1 \Leftrightarrow K_d=1$$

Mais uma vez não existe alteração da altura de onda nem efeito da difração.

Com  $\gamma_1 = 130^\circ$ , e  $L_i=21.63$  m (tabela 12) e considerando que a profundidade média na região protegida pelo quebra-mar é de 0.5 m são apresentados, na tabela 13, os valores para o  $K_d$  e  $H_{dif}$  para diferentes  $\gamma$  e  $r$ . Como se pode verificar à medida que a onda se desloca para a zona de sombra o efeito de difração aumenta e é notória uma altura de onda cada vez mais pequena. À medida que aumenta a distância ao ponto de difração verifica-se que esta tem um efeito mais significativo. Comparando a altura de onda na zona de sombra do quebra-mar com a registada na praia diretamente exposta à agitação marítima verifica-se que a primeira é consideravelmente inferior, o que representa uma menor ação energética da onda sobre a praia, e por conseguinte, uma maior capacidade de retenção de sedimento desta zona. No entanto, isto apenas se verifica para ondulação que não é proveniente do quadrante SW. Para ondas do setor SW, não existe difração e aplicam-se os fenómenos de alteração de onda referidos anteriormente (empolamento e refração).

Um dos principais efeitos da difração da ondulação neste local foi a formação do tómbolo, juntamente com a proximidade do quebra-mar à costa. A formação do tómbolo era inevitável de acordo com os limites definidos por Ming & Chien (2000) in Baptista (2006), uma vez que a razão  $J/l$ , em que  $J$  é a distância do quebra-mar à linha de costa e  $l$  o comprimento do quebra-mar, é inferior a 0.8, como é descrito em Baptista (2006).

**Tabela 13 – Coeficientes de difração e altura de onda difratada**

$\gamma$ ( $^\circ$ )	$r$ (m)	$C_1$	$C_2$	$K_d$	$H_{dif}$ (m)
25	72	0.04	0.96	0.17	0.42
25	144	0.04	0.96	0.14	0.35
25	180	0.04	0.96	0.13	0.32
50	144	0.15	0.85	0.24	0.59
75	144	0.33	0.67	0.41	0.99
100	144	0.59	0.41	0.64	1.55

Na tabela 14 são apresentados os parâmetros relativos à rebentação da ondulação na Praia da Aguda. É visível que a onda ( $H_s = 2$  m ao largo) deve rebentar a uma profundidade de 2.56 m e que o tipo de rebentação, de acordo com o parâmetro de Battjes é progressiva.



**Tabela 14 – Parâmetros da onda na rebentação**

$d_b$	2.56 m
<i>Declive da praia</i>	3.70%
<i>Declividade da onda</i>	0.06
$\xi_0$	0.23
<i>Tipo de rebentação</i>	Progressiva

No que diz respeito ao espraçamento da onda, na tabela 15 são apresentados as cotas máximas de espraçamento na praia e no quebra-mar. A inclinação considerada para o talude da estrutura é de 40 ° que corresponde ao pendor do enrocamento a barlar. De acordo com a tabela 15 a altura máxima de espraçamento é de 6.4 m em relação à superfície do mar, altura superior à cota de coroamento do quebra-mar (+5.5 m (ZH)), isto significa que o quebra-mar é galgado, acontecimento que é facilmente comprovado como mostra a Figura 24. Relativamente ao espraçamento na praia a altura máxima deste é de 0.64 m devido ao declive suave apresentado pela face da praia. Quanto maior o declive, mais elevada é a cota máxima do espraçamento.

**Tabela 15 – Alturas máximas de espraçamento (NMM) na praia e no quebra-mar destacado**

<i>Espraçamento na praia (Holman)</i>	0.64 m
<i>Espraçamento no quebra-mar (Hunt)</i>	6.4 m



**Figura 24 – Galgamento do quebra-mar pelo embate da ondulação (Prata, 2008)**

## 4.2. Evolução temporal dos volumes de praia

Nesta secção pretende-se apresentar e analisar a evolução temporal do volume absoluto, ou seja, volume de sedimentos por metro linear de praia, em termos de volume de praia total, assim como a evolução individual de cada um dos setores predefinidos (3.5). É apresentado também, segundo a metodologia anteriormente descrita, o volume absoluto numa componente transversal da praia, ou seja por cotas.

### 4.2.1. Análise da extensão total de praia

Na Figura 25, é apresentado o volume de sedimentos por metro linear de praia. É visível que inicialmente, antes da construção do quebra-mar, o volume médio da praia era da ordem dos 150 m<sup>3</sup>/m. Com o início da obra existe um ligeiro aumento do volume devido à retenção de sedimentos a N do quebra-mar. Embora exista este aumento de volume é também visível em alguns locais a S do mesmo a ausência total de sedimentos ficando exposto o substrato rochoso (Fig. 26).

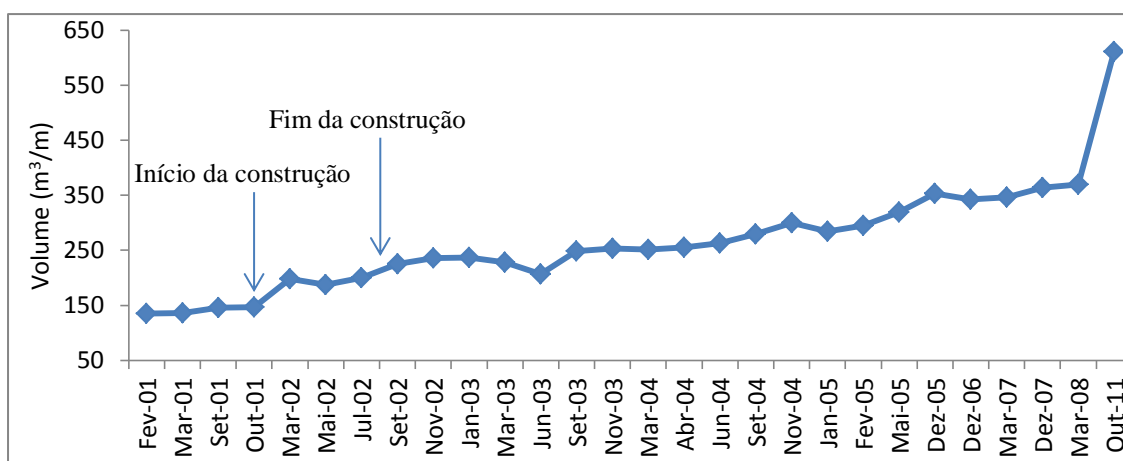
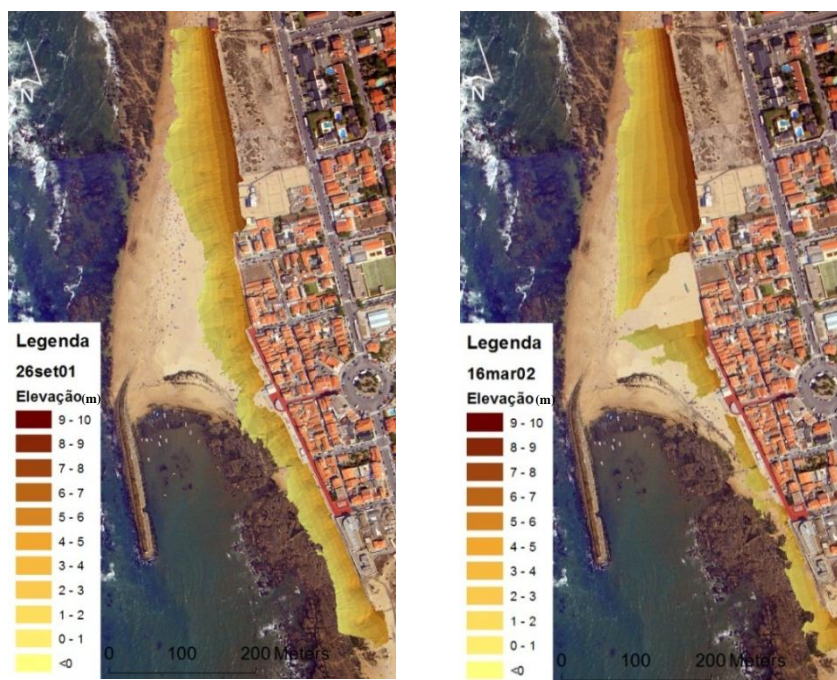


Figura 25 – Volumes absolutos na zona em estudo entre as praias da Aguda e Granja durante o período de monitorização

Ainda na Figura 25, é possível observar que aquando do início da construção do quebra-mar o volume absoluto aumentou, isto porque, após o término da construção em plena época balnear não foi possível a remoção dos sedimentos retidos a barlar do esporão construtivo. A fraca agitação marítima característica deste período do ano também prejudicou a retoma da deriva litoral, que resultou num continuado aumento de volume até aproximadamente meados do Inverno marítimo de 2003 (Jan-03), onde registou um volume absoluto de 250 m<sup>3</sup>/m. A partir deste período existe uma diminuição do volume (perda de sedimentos) devido à forte agitação marítima característica destes meses, com a ocorrência de 20 registos diários de temporais entre Jan-03 e Jun-03, um número superior ao registado no ano anterior para o mesmo período (14 registos) (tabela 10).

Todavia, no final do Verão marítimo (Set-03) verifica-se que existe um novo aumento de volume resultado de uma agitação marítima mais calma, que permite recuperar o volume perdido durante os meses de Inverno marítimo anterior.



**Figura 26 – MDTs da campanha de Set-01 (antes da construção do quebra-mar) à esquerda e campanha de Mar-02 (durante a construção) à direita; a descontinuidade observada no MDT coincide com os locais de manobra de construção do quebra-mar**

A partir de 2003 a monitorização foi estendida até a Praia da Granja, todavia nesta análise não é incorporado este setor pois caso contrário iria mascarar o comportamento dos setores até agora analisados.

Ao longo de todas as campanhas é visível um aumento de volume generalizado, devido à continuada retenção, pelo quebra-mar, de sedimentos transportados por deriva litoral de N-S, existindo ainda pontuais diminuições de volume em períodos de Inverno marítimo como é o caso de Jan-05 e Dez-06. A partir de Dez-05 não se possui dados tão regulares como até essa data e portanto torna-se difícil a compreensão da evolução da praia, até porque apenas são realizadas campanhas durante o Inverno marítimo. Em Dez-05 a praia atingia um volume absoluto próximo  $350 \text{ m}^3/\text{m}$ , valor que se manteve praticamente inalterado durante as campanhas seguintes até Mar-08, embora haja um ligeiro aumento verificado a Dez-07 e Mar-08.

Por fim, e em termos de volume absoluto da praia, a última campanha (Out-11) permitiu avaliar a tendência evolutiva atual. De referir que o intervalo temporal existente entre esta campanha e a anterior é de aproximadamente 30 meses, fator este, que impossibilita a observação da evolução da praia ao longo deste período. O volume absoluto mais recentemente obtido apresenta um valor próximo de  $610 \text{ m}^3/\text{m}$ , enquanto na campanha anterior se verificava um volume absoluto pouco inferior a  $370 \text{ m}^3/\text{m}$  (Mar-08 no final de um período de Inverno marítimo). Verifica-se portanto uma tendência geral de acreção aproximada de  $240 \text{ m}^3/\text{m}$ . Esta tendência de acreção em toda a praia durante o período de 2008-2010 vai de encontro aos valores positivos de balanço anual apresentados por Granja *et al.* (2011).

Na Figura 27 são apresentados MDTs que permitem observar a evolução morfológica da praia em períodos distintos ao longo do intervalo temporal de monitorização. É possível observar, com

base na Figura 27 que se passou de uma situação inicial registada em Out-01 para uma situação de extrema fragilidade nos setores a S em Dez-06. Atualmente (Out-11) possui-se já uma recuperação nítida destes setores a S, principalmente nos que estão mais próximos da estrutura, devido à retoma da deriva litoral por saturação do sistema a N, assim como devido às realimentações artificiais realizadas.

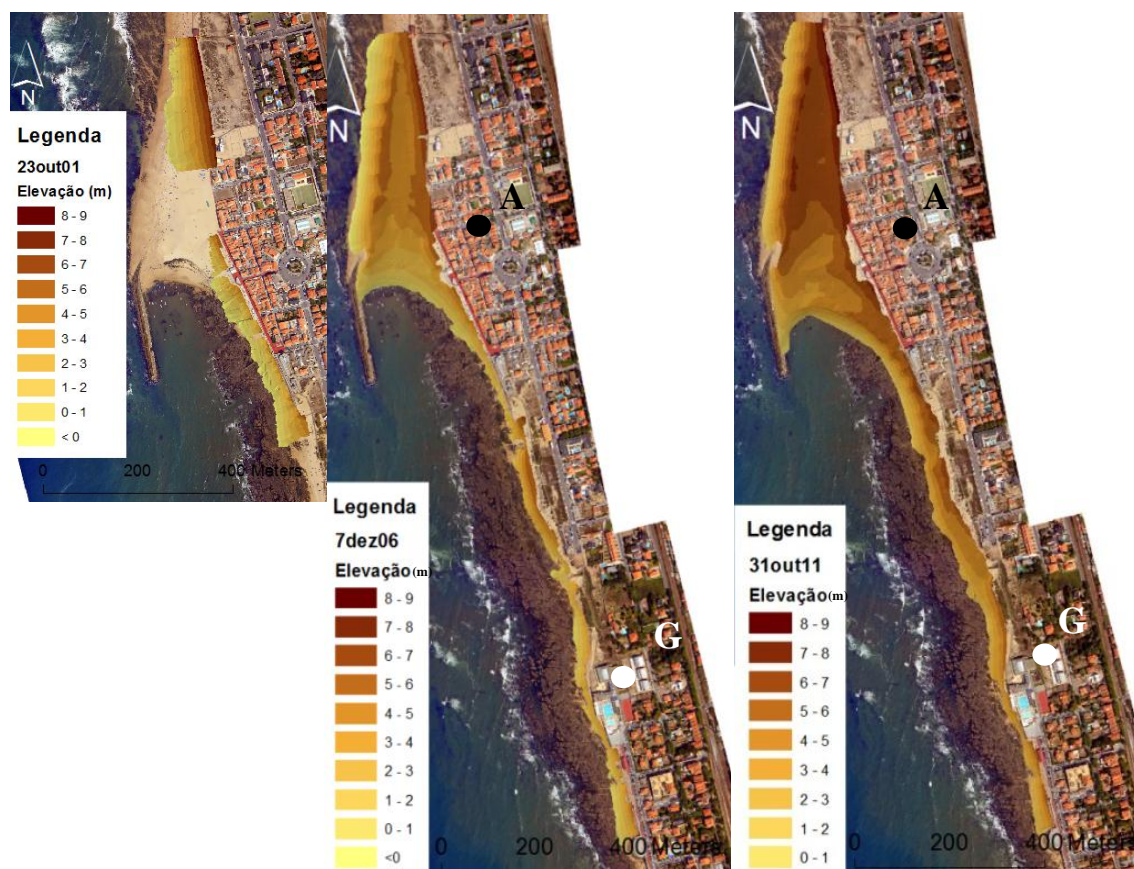


Figura 27 – Evolução temporal da geomorfologia da Praia da Aguda (à esquerda) e Praia da Aguda e Granja nas restantes imagens. (A – Aguda e G-Granja)

### Componente transversal

Na Figura 28 é possível observar a evolução do volume nos intervalos de cotas considerados, verificando-se que, ao longo de quase todo o período de monitorização, a zona de *foreshore* possui um volume superior ao registado na zona de *backshore*, representando esta uma zona pouco desenvolvida o que confere menor robustez à praia (Fig. 29). No entanto, esta diferença não é muito significativa. Apenas em 2011 a zona *backshore* obtém um volume superior indicativo de uma praia mais robusta (Fig. 30). Efetivamente é nítida a diferença existente na praia antes da construção do quebra-mar (Fig. 29) e na atualidade (Fig. 30). A formação do tómbolo e as variações na largura de praia são as principais alterações entre os dois períodos. Esta evolução, com formação de um tómbolo foi prevista pelo estudo prévio realizado pelo IHRH (1999). Foi também verificado este comportamento na zona adjacente ao quebra-mar de Castelo de Neiva (IHRH, 2010).



Na Figura 29 verifica-se que praticamente não existe zona *backshore*, principalmente na zona de construção do quebra-mar (Fig. 29A), na Figura 30, analogamente, verifica-se um incremento sedimentar elevado em ambas as zonas (*foreshore* e *backshore*), principalmente no *backshore*.

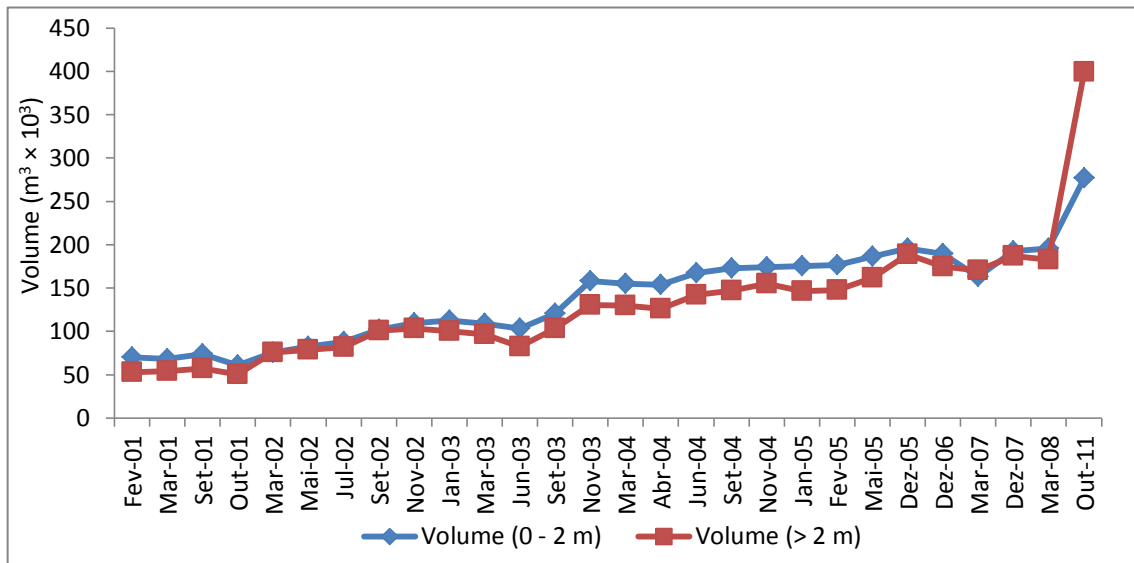


Figura 28- Evolução temporal do volume nas zonas de *foreshore* e *backshore* (Início da construção: Out-01; finalização: Jul/Ago-02)

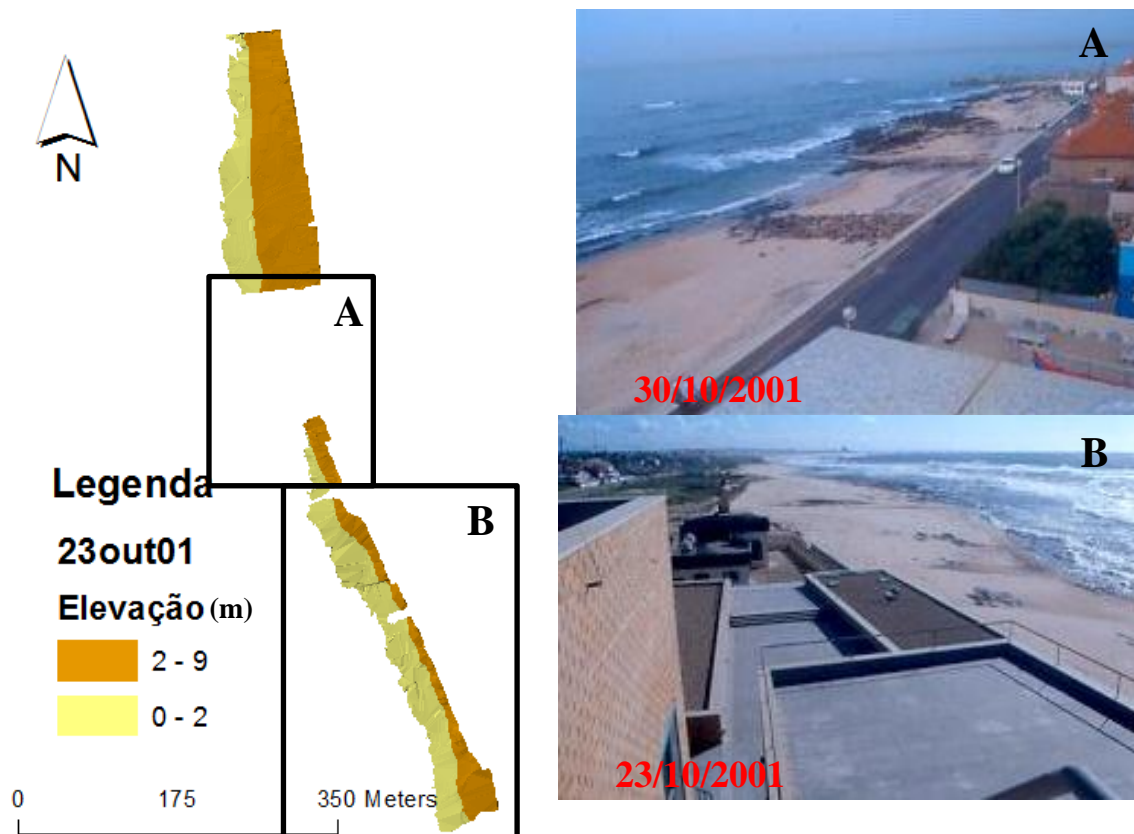


Figura 29 – MDT de 23 de Outubro de 2001 (antes da construção do quebra-mar)

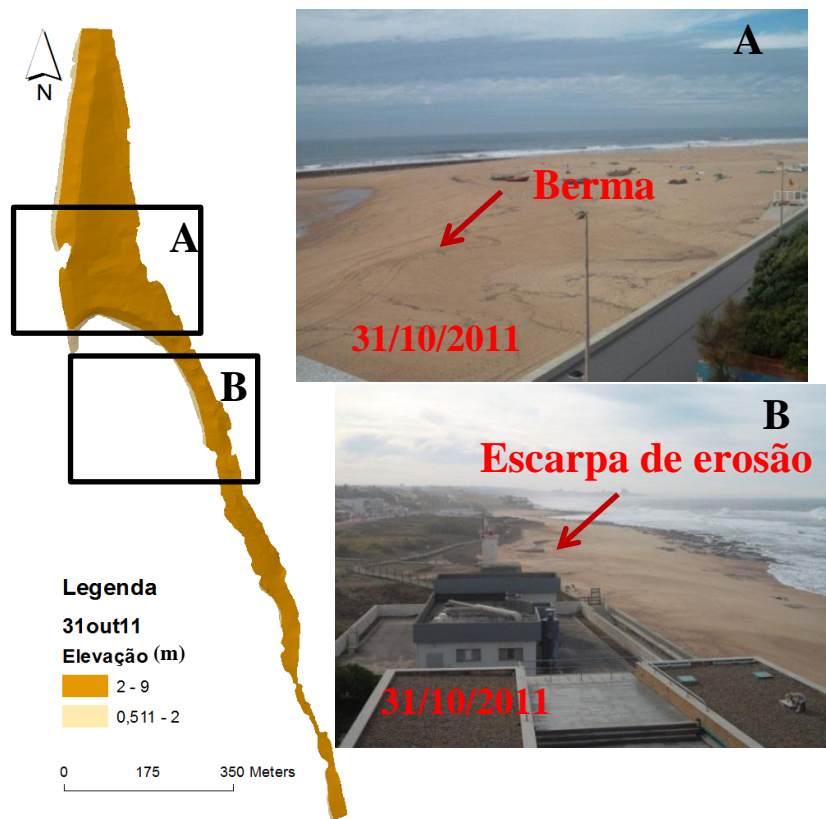


Figura 30 – MDT da campanha de 31 de Outubro de 2011, com detalhe das diferentes morfologias de praia encontradas

#### 4.2.2. Análise por setores

Como foi referido anteriormente, para uma análise mais pormenorizada dos volumes de praia e das alterações provocadas na praia pela construção do quebra-mar, foi dividida a área total da praia em 5 setores. A análise do comportamento de cada um destes setores é apresentada neste tópico. Como tal, na Figura 31 observa-se a evolução do volume absoluto de cada setor ao longo do período de monitorização.

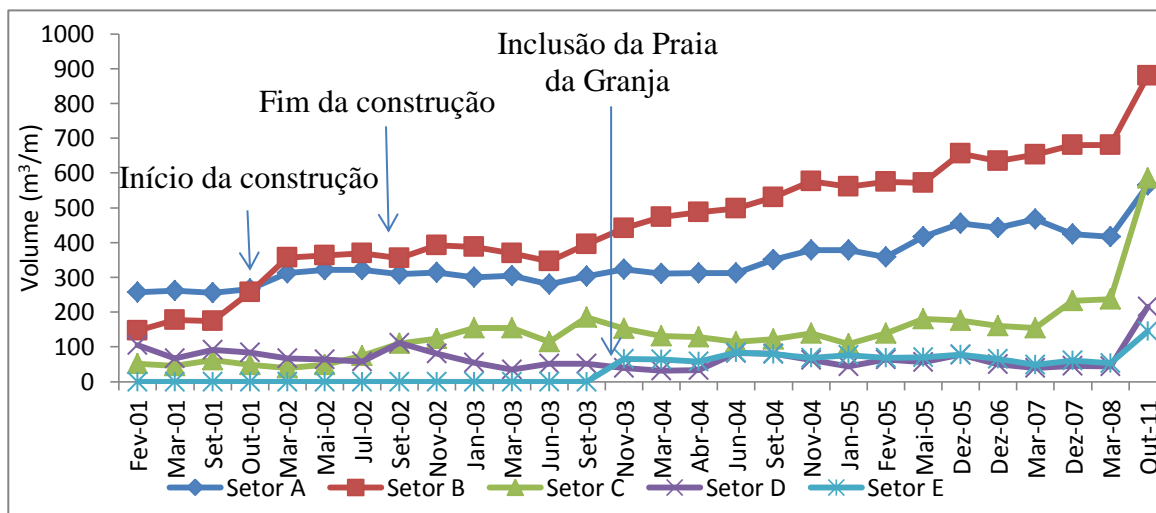


Figura 31 – Evolução do volume sedimentar absoluto ao longo do período de monitorização em cada um dos setores definidos

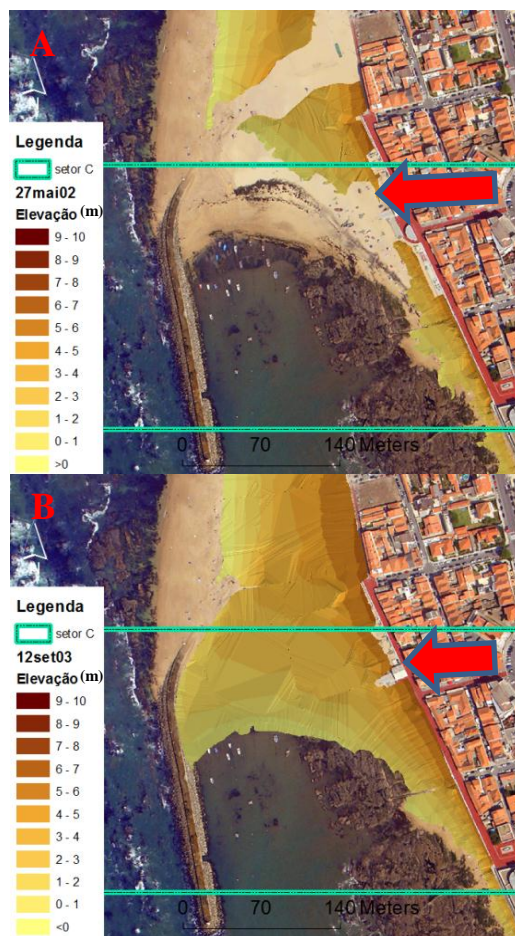
Como é possível observar, os setores A e B registaram um volume absoluto mais elevado antes da construção do quebra-mar relativamente ao volume absoluto presente nos restantes setores (para o mesmo período de tempo). O volume variou entre os 250 e 175 m<sup>3</sup>/m, respetivamente, beneficiando de um aumento após a construção. Esse aumento no setor B foi gradual até o final do período de monitorização, devido à retenção de sedimentos a barlar da estrutura provocada pelo efeito barreira do tómbolo à deriva litoral.

Por conseguinte o setor B, imediatamente a N do quebra-mar é o que mais beneficia em termos de aumento de volume sedimentar, obtendo um máximo de cerca de 900 m<sup>3</sup>/m na última campanha realizada. Aquando do início da construção do quebra-mar, o setor B apresenta uma forte acreção devido à presença do esporão construtivo que serve de ligação entre a praia e a zona de trabalhos do quebra-mar. As perdas de volume neste setor dão-se predominantemente nos meses de Invernos marítimos. Verifica-se que quando neste setor existe diminuição de volume também no setor A existe uma diminuição de volume ou um ganho muito reduzido, que pode ser indicativo de que os processos que ocorrem nestes setores durante esses períodos serão provavelmente trocas transversais, e não fenómenos de inversão de deriva associados a temporais do quadrante S. Por outro lado e do ponto de vista dos processos acrecionários, enquanto no setor B é bem visível a forte acreção, no setor A verifica-se um pequeno incremento volumétrico seguido de uma estagnação que ronda os 300 m<sup>3</sup>/m até meados de 2004. Após este período, observa-se um novo aumento de volume neste setor, que se prolonga até o final da monitorização, apesar de se verificar durante o Inverno marítimo de 2007 - 2008 uma diminuição do volume que, mesmo assim, é superior aos 300 m<sup>3</sup>/m registados em média durante o período de estagnação. Este aumento de volume, na última campanha, deve-se à forte acumulação que se verifica em B que por sua vez induz um acréscimo de volume nas zonas a montante. Neste setor o volume máximo registado é da ordem dos 565 m<sup>3</sup>/m obtido no ano de 2011.

Antes da construção do quebra-mar, o setor A registava o volume absoluto mais elevado dos quatro setores, com o início da obra, o setor B passou a reter uma maior quantidade de sedimentos, devido à sua localização beneficiando de uma rápida e elevada acreção de sedimentos, a maior no troço considerado. Embora exista um incremento volumétrico nos dois setores, o que sofreu maior alteração com a introdução do quebra-mar foi o setor B. Este comportamento também é indicado em Baptista (2006) para o período compreendido entre 2001 a 2006. O volume retido no setor B ao longo dos anos pode ser considerado como representativo do efeito do quebra-mar na interrupção da deriva litoral. Apresenta-se uma estimativa deste valor na secção relativa ao cálculo dos balanços sedimentares (4.2.3).

O setor C que abrange o tómbolo mas também a zona de sombra do mesmo reflete por um lado, a acreção a barlar, assim como uma erosão inicial acentuada a sotamar, situação que posteriormente foi sendo colmatada. Este setor regista volumes médios da ordem dos 50 m<sup>3</sup>/m no início da construção e, durante a mesma, houve uma ligeira diminuição do volume devido à forte erosão a sotamar do esporão construtivo como se pode ver na Figura 32A. Após a finalização da

construção, entre os finais de 2002 e de 2003, registou-se um aumento do volume e o setor assumiu a forma de um tómbolo (Fig. 32B) com uma baía a sotamar protegida da rebentação da ondulação. O aumento de volume deveu-se à acreção a partir de S, pois a barreira o quebra-mar já estava colmatado. Porém, em Jun-03 ocorre uma diminuição de volume mais acentuada que se deve à dragagem de sedimentos ocorrida na zona, antes da época balnear de 2003.



**Figura 32 – Evolução volumétrica e morfológica do setor C, durante a construção do quebra-mar (A) e após a finalização do mesmo (B). A seta vermelha a 27mai02 representa uma zona de largura crítica de praia e a 12set03 a mesma zona após a construção do quebra-mar.**

Após o período de acreção verifica-se que no final de 2003 e até meados de 2004, o volume absoluto do setor C volta a ter um decréscimo (Fig. 31). Isto acontece nas campanhas de Nov-03, Mar-04 e Abr-04 devido à forte erosão que se faz sentir na zona mais a S, que perde a totalidade dos seus sedimentos deixando exposto o substrato rochoso. Este desnudamento na zona S, que abrange também o setor D, deve-se mais uma vez à forte ondulação proveniente de SW, durante o Inverno marítimo originando fenómenos locais de inversão de deriva e o transporte dos sedimentos existentes no setor D para a zona do tómbolo. Por outro lado, a retenção de sedimentos a N da obra e respetivo efeito do tombolo favorecem a fixação de sedimentos, vindos de S, no setor C.

Em Jun-04, Invernos marítimos de 2004-2005 (Nov04-Jan05), 2005 (Dez-05), 2006 e Mar-07 verifica-se uma diminuição da área do tómbolo e, por sua vez, do seu volume absoluto, devido à dragagem de sedimentos efetuada, a qual serviu, por um lado, para benefício de acesso dos barcos de pesca e por outro para a realimentação da praia a S. Conjugado com este fator, a ocorrência de



temporais durante os meses de Inverno que favorecem as trocas transversais da praia emersa para a zona submersa. Posteriormente a este período regista-se um aumento do volume, e com o finalizar da dragagem de sedimentos de uma forma controlada e assídua desde 2007 verifica-se um aumento considerável da área do tómbolo como se pode ver na Figura 30 na campanha de Out-11. O volume registado na última campanha do setor C (out-11) situa-se nos 580 m<sup>3</sup>/m (Fig. 31). Esta tendência geral de acreção referida no setor C, mesmo após as ações de dragagem, está de acordo com os resultados apresentados por Baptista (2006), contrariando assim as previsões feitas pelo IHRH (1999), que apontavam no sentido da cessação da acreção sedimentar a N do quebra-mar, após a remoção do esporão construtivo.

Os setores D e E sofreram também alterações após a construção do quebra-mar. O setor D atingiu valores mínimos, inferiores ao menor valor registado antes da construção (65 m<sup>3</sup>/m). Após o início da obra foram realizadas 25 campanhas, 19 destas possuem valores inferiores a 65 m<sup>3</sup>/m, sendo que em muitas destas o volume está abaixo de metade deste valor. Considerando que o volume médio, antes da construção, é de cerca de 90 m<sup>3</sup>/m, observa-se que em apenas 2 das campanhas, posteriores à construção, possuem volumes superiores. Na tentativa de minimizar o decréscimo de sedimento, iniciou-se em 2003 a alimentação artificial com sedimentos que, no entanto, não se mantinham na praia emersa muito mais do que poucos meses (Fig. 31). As campanhas em que se verifica um volume médio superior ao registado antes da obra dizem respeito a Set-02 e Out-11, sendo que na última campanha o setor D apresenta um valor médio de 215 m<sup>3</sup>/m, cerca de 150 m<sup>3</sup>/m mais que o verificado antes da construção do quebra-mar. Este aumento de volume no setor D deve-se essencialmente à saturação do sistema a N e consequente retoma da deriva litoral.

O setor E mostra, em parte, um comportamento semelhante ao setor D, embora possua volumes ligeiramente mais elevados porque beneficiou de um período de realimentações mais extenso que o setor D. A comparação com a situação anterior ao quebra-mar não é possível, mas é visível que o setor mantém um volume praticamente constante ao longo do período de monitorização, que ronda os 65m<sup>3</sup>/m, não contabilizando o máximo registado na última campanha (145 m<sup>3</sup>/m).

O aumento de volume nos setores D e E nos dois anos anteriores à última campanha é confirmado pela informação disponível, relativa aos anos de 2009 e 2010 em Granja *et al.* (2011), em que foi registada acreção, a qual pode dever-se a realimentações que continuam a ser feitas e à saturação do sistema a barlavento da obra o que permitiu a retoma da deriva para S. A conjugação deste dois fatores permitiu observar que atualmente é notória uma relativa maior preservação dos setores a sotamar. No que diz respeito às realimentações artificiais nestes setores, o seu efeito pode ser contabilizado na variação do volume como é mostrado no tópico de balanços sedimentares (4.2.3).

Tal como no setor D, o setor E, também apresenta períodos de ausência completa de praia, como se pode verificar na Figura 33.

A tendência geral de erosão dos setores D e E verificada a sotamar do quebra-mar durante grande parte do período de monitorização foi também verificado por Baptista (2006), contrariando mais uma vez o que era previsto por IHRH (1999), este apontava que a erosão sedimentar a S estivesse apenas restrita ao período de construção do quebra-mar.

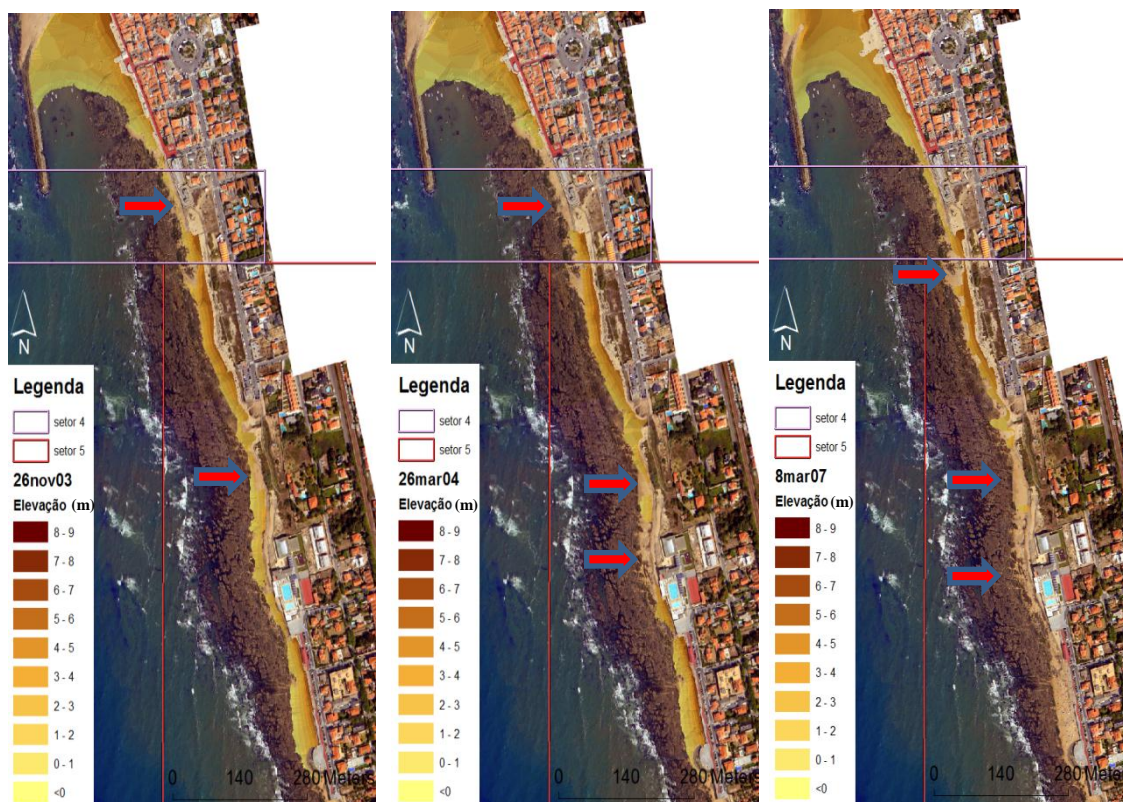


Figura 33 – Evolução temporal da morfologia e volume dos setores D e E. As setas indicam zonas de largura crítica da praia ou ausência da mesma

### Componente transversal por setores

A análise da componente transversal em cada um dos setores permite apurar as diferenças existentes nos perfis de praia.

A Figura 34 descreve a evolução temporal da zona *foreshore* e *backshore* no setor A. Ao longo do período em análise o volume da zona *backshore* foi sempre superior ao volume da zona *foreshore*. Com a construção do quebra-mar verificou-se um ligeiro aumento nas duas zonas, o que evidencia a presença de processos acrecionários associados a uma maior disponibilidade sedimentar induzida pelo efeito de retenção sedimentar do quebra-mar. Trocas transversais entre a praia submersa e a zona de *foreshore* e entre esta zona e a zona de *backshore* terão contribuído para o aumento de volume. O setor mantém praticamente a mesma razão de volumes até Nov-04; a partir desta data a diferença de volume entre zonas sofre um aumento, sendo visível o início da formação de uma berma que nas campanhas, seguintes é cada vez mais robusta, refletindo a diferenciação de volumes entre as duas zonas (Fig. 35).

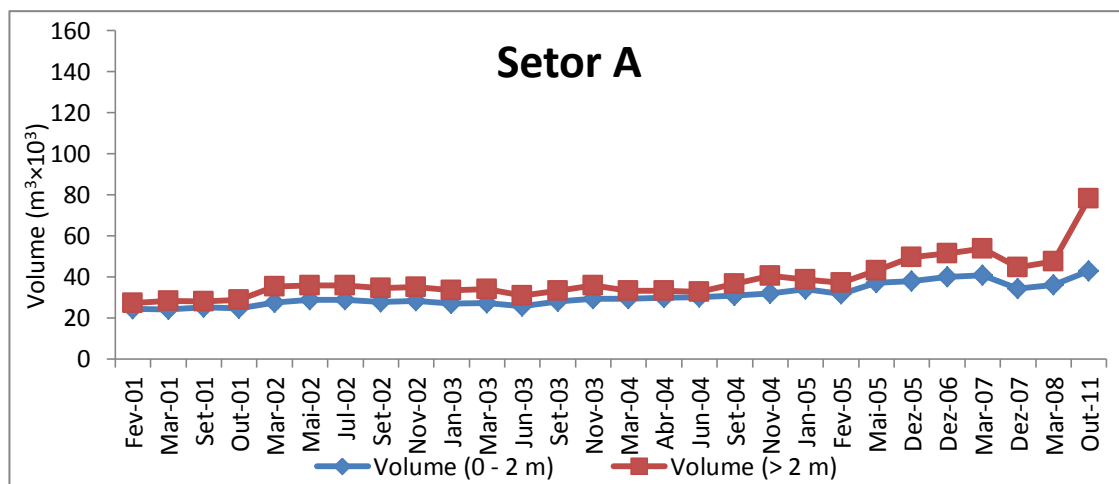


Figura 34 - Evolução temporal do volume das zonas *foreshore* e *backshore* no setor A (Início da construção: Out-01, Finalização: Jul/Ago-02)

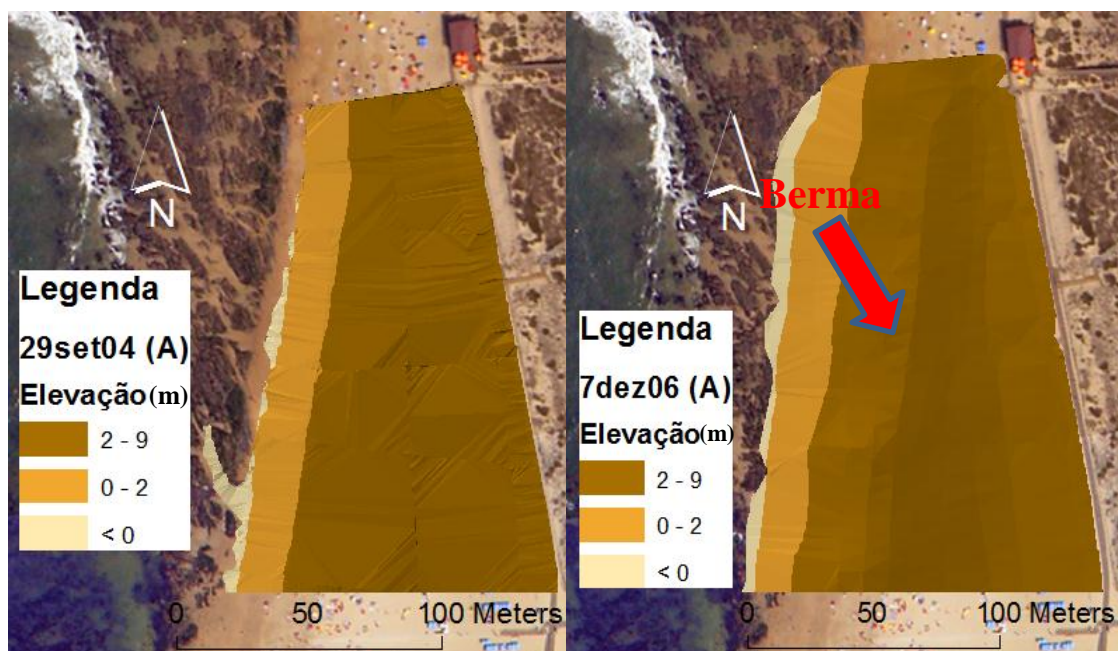
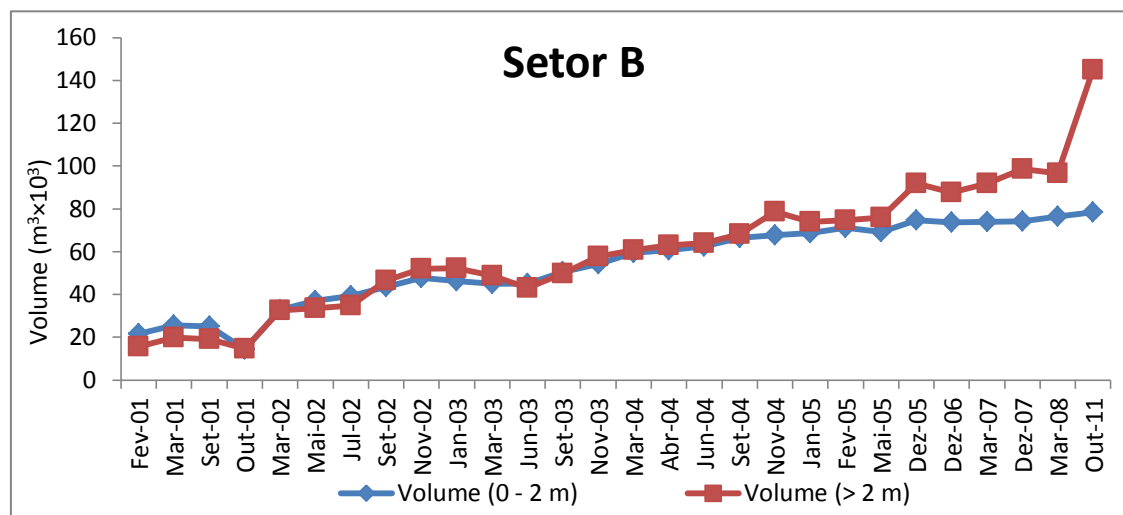


Figura 35 – Diferença morfológica entre Setembro de 2004 e Dezembro de 2006

À semelhança do que se verificou no setor A, no setor B após a construção do quebra-mar registam-se algumas alterações. Como é visível na Figura 36 antes da construção da estrutura a zona *foreshore* possuía um volume superior à zona *backshore*, o que denuncia a presença de uma praia de cotas baixas com berma pouco robusta e por conseguinte, facilmente erodível em situações de temporal. Durante a construção do quebra-mar os volumes quase se igualaram, denunciando uma tendência acrecionária constante ao longo do tempo, sendo de referir que após o término da obra a zona *backshore* possui um volume ligeiramente superior.

A evolução volumétrica das zonas é semelhante e com volumes muito próximos. Os volumes começam a distanciar-se a partir de Mai-05, com a zona *backshore* a registar um maior aumento relativamente à zona *foreshore* sendo visível a definição de uma berma permanente que confere a este setor uma elevada capacidade de resistência à forte agitação marítima. No setor A as zonas

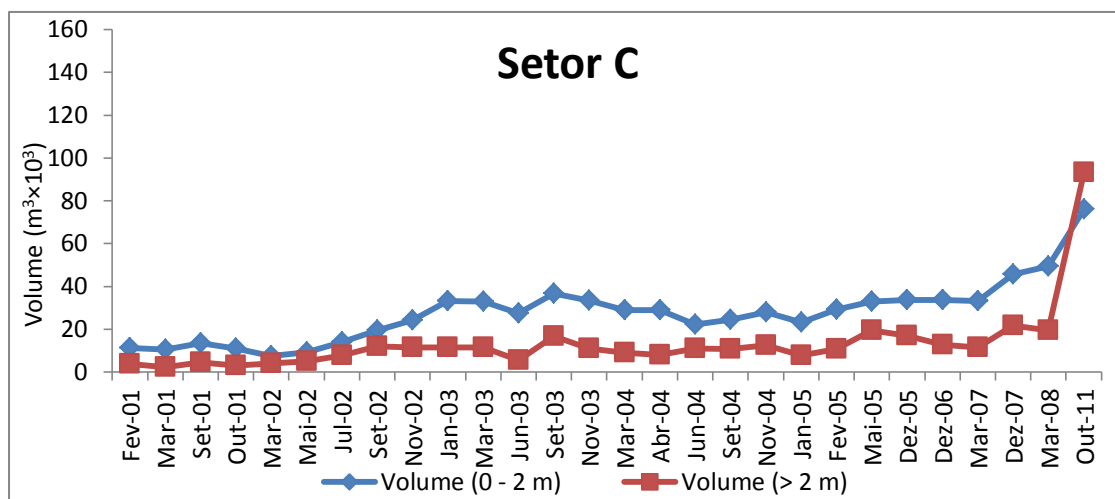
*foreshore* e *backshore*, antes da construção do quebra-mar, têm um volume ligeiramente superior às do setor B que tem cerca de  $20 \times 10^3 \text{ m}^3$  mas, com a construção do quebra-mar, o volume no setor B sofre um aumento superior ao registado no A. Na última campanha o volume da zona *backshore* no setor B é de cerca de  $145 \times 10^3 \text{ m}^3$ , enquanto no setor A é da ordem dos  $78 \times 10^3 \text{ m}^3$  isto reflete-se num setor B mais robusto.



**Figura 36 – Evolução temporal do volume das zonas *foreshore* e *backshore* para o setor B**  
(Início da construção: Out-01, Finalização: Jul/Ago-02)

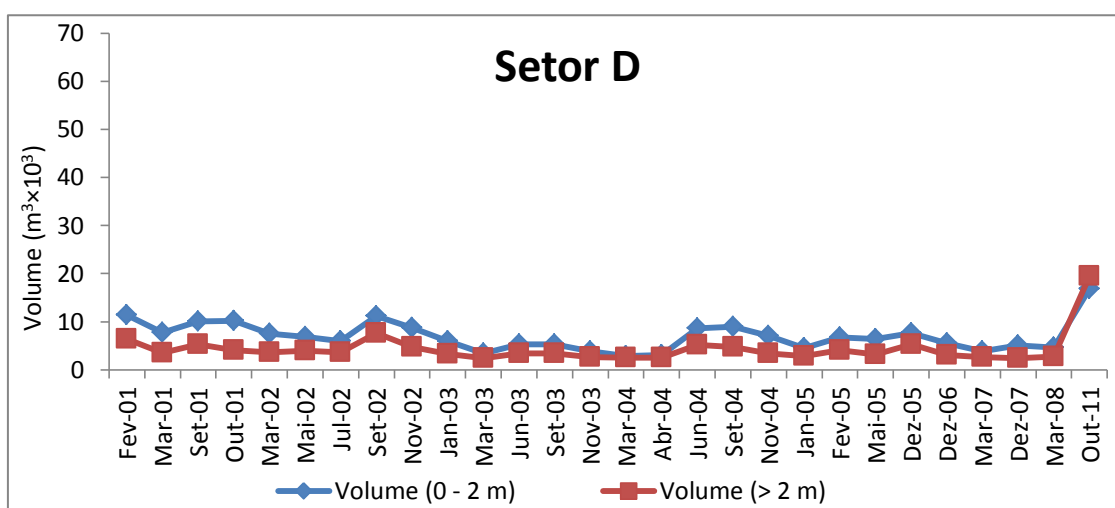
Enquanto nos setores A e B se verificou um aumento de volume da zona *backshore* com a construção do quebra-mar, no setor C não é isso que se observa. É visível na Figura 37 que inicialmente, o setor C possui *backshore* muito fragilizado sendo o seu volume de cerca de  $3 \times 10^3 \text{ m}^3$ . O *foreshore* também possuía um volume menor em relação aos setores anteriores, sendo de admitir portanto, que se tratava inicialmente (antes da obra) de um setor de praia mais frágil que os anteriores. Com a construção do quebra-mar observa-se um aumento de volume devido à acumulação de sedimentos na zona de tómbolo, com exceção de alguns períodos devido à remoção de sedimentos, como é o caso de Jun-03 e Jun-04.

A zona de *foreshore*, ao longo de toda a série temporal, tem um aumento de volume maior do que o registado no *backshore*, devido à deposição de sedimentos na zona da baía que por sua vez não são transferidos para a zona alta da praia ao mesmo ritmo com que são depositados na zona de *foreshore*. Com a construção da estrutura o volume médio da zona *backshore* é de cerca de  $10 \times 10^3 \text{ m}^3$  que se mantém ao longo de quase todo o período de monitorização, exceto na última campanha em que tem um aumento de cerca de  $70 \times 10^3 \text{ m}^3$ , ultrapassando o volume da zona *foreshore* (Fig. 37). Este aumento vem no seguimento do que se verifica nos restantes setores neste período. A ausência de dragagens sucessivas a partir de 2007 permite maior disponibilidade de sedimentos na zona de *foreshore*, que são transportados para *backshore* e com a sucessiva colmatção da baía o aumento de volume nesta não é tão prenunciado como no *backshore*.



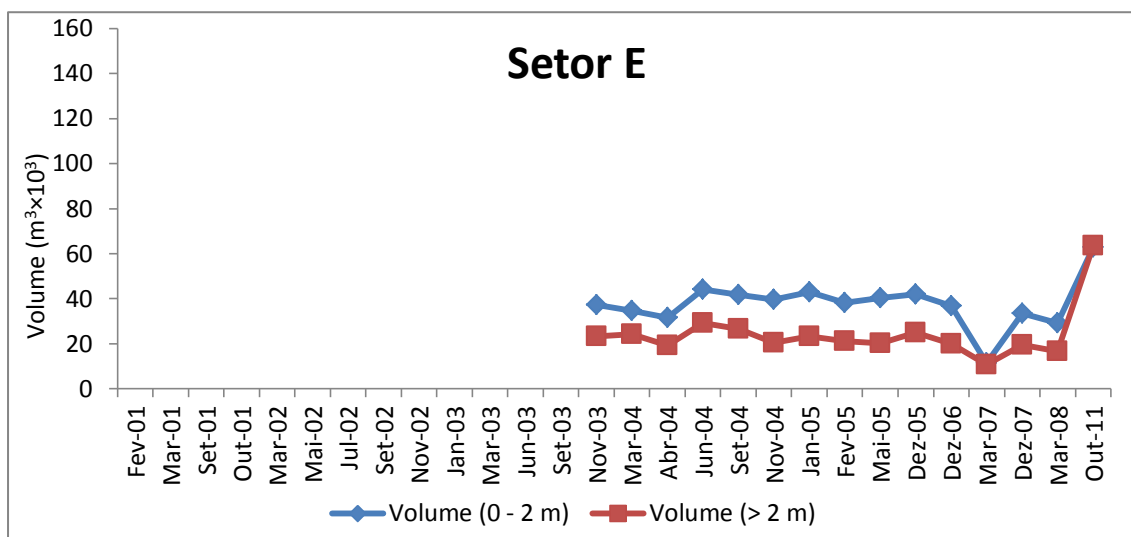
**Figura 37 – Evolução temporal do volume das zonas foreshore e backshore no setor C**  
(Início da construção: Out-01, Finalização: Jul/Ago-02)

Os setores D e E pela sua posição em relação ao quebra-mar possuem características e um padrão de evolução de volume relativamente semelhantes. É visível nas Figuras 38 e 39 que nestes setores a zona *foreshore* tem um volume superior ao da zona *backshore* e que ambos possuem volumes reduzidos, embora como a secção E possua maior área logo um volume mais elevado. Estas características permitem aferir que os setores são relativamente mais vulneráveis que os sectores A e B, tanto antes como após a construção do quebra-mar (esta interpretação baseia-se no facto dos volumes sedimentares absolutos serem inferiores aos registados nos sectores A e B e também no facto do volume sedimentar na zona de *foreshore* ser superior a que ocorre na zona de *backshore*, o que não ocorre nos sectores A e B); em quase todas as campanhas se registam valores mínimos, inferiores aos valores observados antes da construção.



**Figura 38 - Evolução temporal do volume das zonas backshore e foreshore no setor D**  
(Início da construção: Out-01, Finalização: Jul/Ago-02)





**Figura 39 - Evolução temporal do volume das zonas *foreshore* e *backshore* no setor E (Início da construção: Out-01, Finalização: Jul/Ago-02)**

Com a ausência de sedimentos na zona *foreshore*, a zona *backshore* também não é abastecida ou seja, a praia encontra-se muito vulnerável à agitação marítima e a períodos de temporais, havendo zonas totalmente desprovidas de sedimentos. É também visível nas Figuras 38 e 39 que nestes setores as variações na zona de *foreshore* são mais bruscas do que na zona *backshore*, isto porque quando existe deposição de sedimentos é a zona *foreshore* que beneficia mais rapidamente destes, assim como quando ocorrem períodos de temporal é a primeira a ser atacada, embora toda a praia seja afetada devido às cotas baixas que apresenta.

Em 2011, à semelhança do que se tem observado nos restantes sectores, existe uma grande alteração nos volumes de praia. Verifica-se que a zona de *backshore* tem um aumento de volume acentuado, maior do que o registado na zona *foreshore*, no entanto a diferença entre as duas zonas é relativamente pequena, quando comparada com a diferença existente nos restantes setores. Como se pode ver na Figura 40, na campanha Out-11 quase não é visível zona de *foreshore* devido ao aumento do volume na alta praia. Este aumento de volumes confere à praia uma maior robustez quando comparada com Mar-08, no entanto é visível nos setores D e E restos de uma berma que foi atacada pelo temporal nos dias anteriores à campanha (31out11).

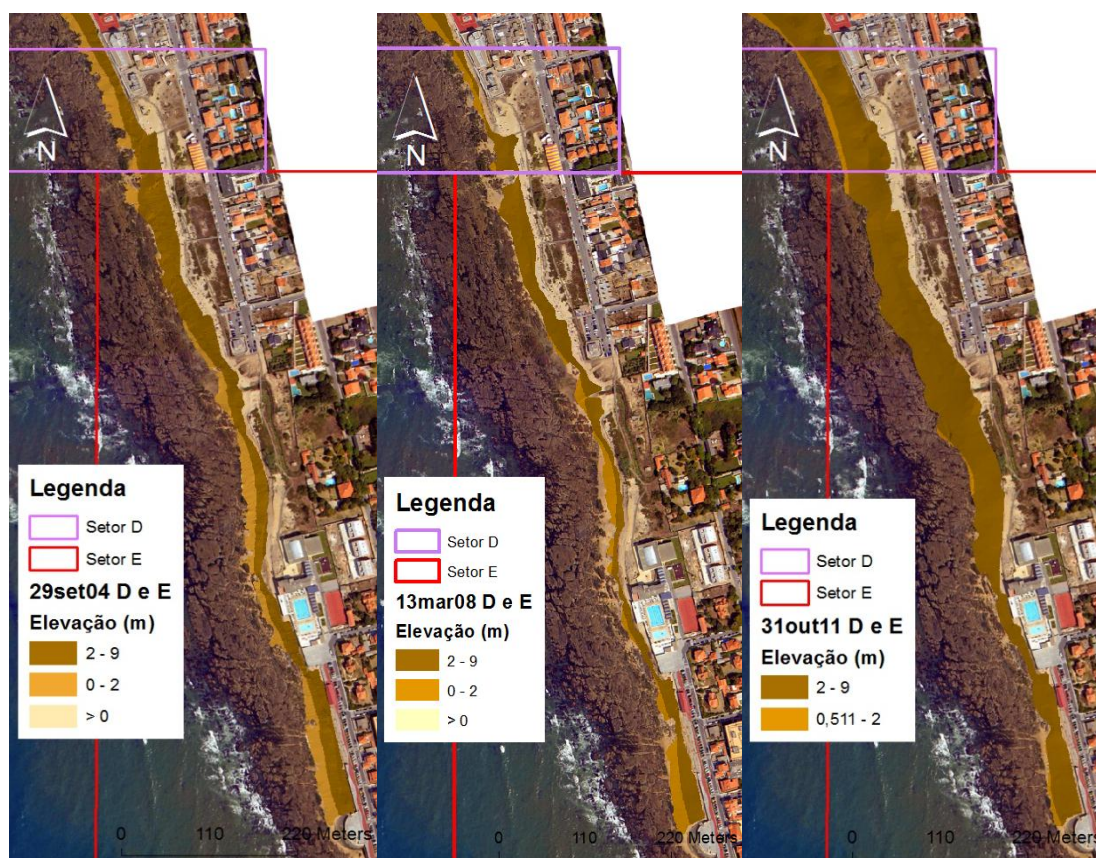


Figura 40 – Evolução das zonas foreshore e backshore nos setores D e E

#### 4.2.3. Balanço sedimentar

De uma forma complementar ao que já foi referido no tópico da evolução volumétrica de cada um dos setores, na tabela 16 é apresentado a  $\Delta V$  entre campanhas consecutivas. É possível aferir que o setor A, ao longo dos onze anos, tem uma variação positiva de aproximadamente  $69300 \text{ m}^3$ , o que significa que, por ano, ficaram retidos cerca de  $6300 \text{ m}^3$  ( $31.50 \text{ m}^3/\text{m}$ ) na componente emersa da praia deste setor. O mesmo raciocínio é aplicável aos restantes setores, no setor B verifica-se que existe a retenção de cerca de  $16911 \text{ m}^3$  ( $66.58 \text{ m}^3/\text{m}$ ) por ano, no setor C esse valor é um pouco inferior, cerca de  $14014 \text{ m}^3$  ( $48.49 \text{ m}^3/\text{m}$ ). O setor D possui uma capacidade retenção de cerca de  $1691 \text{ m}^3$  ( $10.07 \text{ m}^3/\text{m}$ ) por fim, o setor E apresenta uma capacidade de retenção de  $8247 \text{ m}^3$  ( $9.39 \text{ m}^3/\text{m}$ ).

O setor B apresenta a maior capacidade de retenção sedimentar ao longo dos 10 anos, sendo o setor D o que menor capacidade de retenção tem como se pode verificar na tabela 16. Em termos absolutos o setor E possui uma capacidade de retenção menor devido ao comprimento médio considerado, uma vez que o perfil monitorizado nesta zona não teve sempre o mesmo comprimento (Fig. 31).

A partir da construção do quebra-mar a barlamar deste (setores A, B e C) ficaram retidos, anualmente, cerca de  $41695 \text{ m}^3$ , um valor ligeiramente inferior ao obtido por Granja *et al.* (2011) de 2001 a 2010, que foi de  $50000 \text{ m}^3$ , e superior ao de Baptista (2006) de 2001 a 2006, que ronda os  $20000 \text{ m}^3$ . Quando comparado este valor, com o caudal sólido anual debitado pelo rio Douro

(250000 m<sup>3</sup>), é visível que apenas aproximadamente um sexto deste caudal fica retido no quebra-mar, o que significa que, a uma escala mais abrangente, o impacto desta obra não é muito significativo em termos de interrupção da deriva litoral N-S, embora a uma escala local se possa considerar relevante em termos do impacto nos setores imediatamente a sotamar da obra.

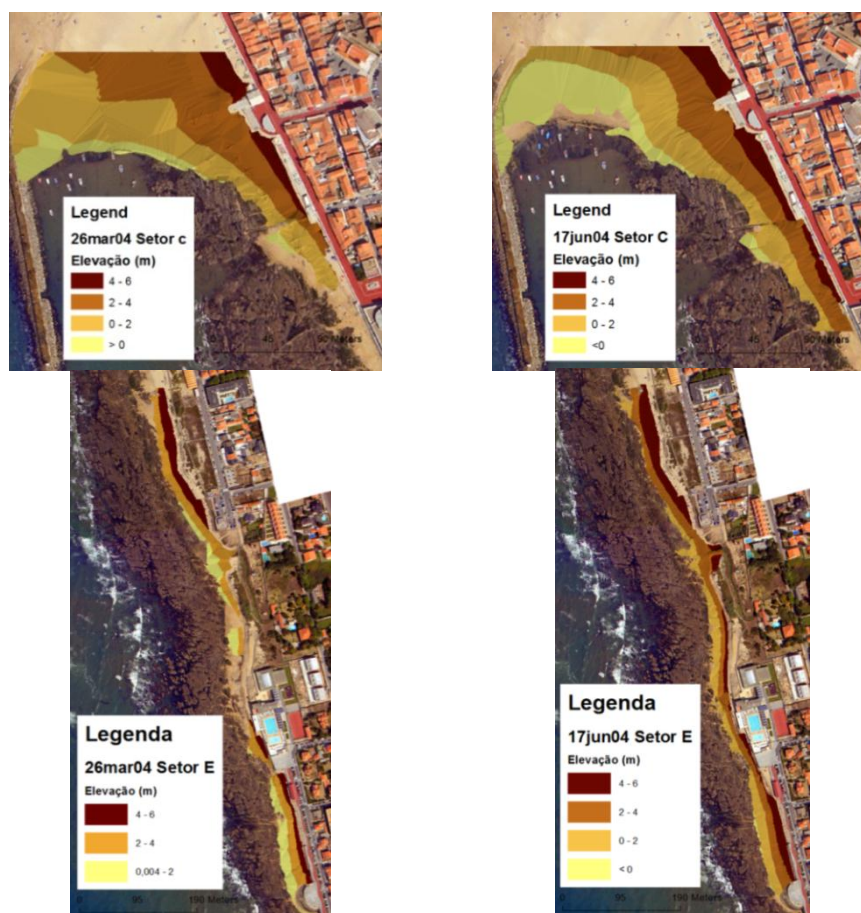
**Tabela 16 – Variação de volume entre campanhas consecutivas ao longo de todo o período de estudo**

<i>Períodos consecutivos (<math>\Delta V</math> em m<sup>3</sup>)</i>					
<b>Período</b>	<b>Setor A</b>	<b>Setor B</b>	<b>Setor C</b>	<b>Setor D</b>	<b>Setor E</b>
<b>Fev01-Mar01</b>	772.46	7952.19	-2068.89	-6414.9	-
<b>Mar01-Set01</b>	775.49	-887.11	4856.24	4153.71	-
<b>Set01-Out01</b>	164.41	-15191.62	-3836.62	-1294.48	-
<b>Out01-Mar02</b>	9519.13	36208.12	-2605.94	-2961.01	-
<b>Mar02-Mai02</b>	1952.63	5475.66	2728.4	-438.34	-
<b>Mai02-Jul02</b>	-88.61	3228.72	7493.02	-1144.94	-
<b>Jul02-Set02</b>	-2480.41	16069.21	10028.66	9232.69	-
<b>Set02-Nov02</b>	928.25	9653.36	4239.68	-5333.69	-
<b>Nov02-Jan03</b>	-2726.66	-1156.81	8820.43	-4307.2	-
<b>Jan03-Mar03</b>	796.43	-4759.64	-224.71	-3428.64	-
<b>Mar03-Jun03</b>	-4703.01	-5734.5	-11578.52	2841.12	-
<b>Jun03-Set03</b>	4630.4	12213.93	20718.78	0.32	-
<b>Set03-Nov03</b>	4050.19	11714.16	-9265.89	-2068.07	-
<b>Nov03-Mar04</b>	-2751.68	8144.63	-6509.05	-1191.71	-1662.43
<b>Mar04-Abr04</b>	479.36	3588.57	-963.61	239.54	-7914.76
<b>Abri04-Jun04</b>	-175.69	2653.22	-3609.41	8165.67	22390.2
<b>Jun04-Set04</b>	4610.92	8335.1	2081.39	-71.54	-4948.8
<b>Set04-Nov04</b>	5102.45	11541.27	4912.3	-3174.22	-8405.85
<b>Nov04-Jan05</b>	152.75	-3665.05	-9081.11	-3236.68	6346.89
<b>Jan05-Fev05</b>	-3917.36	3344.49	8871.31	3432.93	-7120.3
<b>Fev05-Mai05</b>	11385.88	-656.65	12314.58	-1161.18	1531.22
<b>Mai05-Dez05</b>	7356.05	21422.96	-1640.72	3375.07	6253.51
<b>Dez05-Dez06</b>	4040.34	-5430.04	-4406.36	-4418.98	-10071.47
<b>Dez06-Mar07</b>	2908.97	4421.61	-1562.1	-2015.02	-34710.92
<b>Mar07-Dez07</b>	-15434.36	7199.05	22702.03	1022.52	30735.91
<b>Dez07-Mar08</b>	4657.48	32.17	1140.74	-153.76	-6978.48
<b>Mar08-Out11</b>	37296.94	50314.78	100604.28	28960.73	80527.3
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>69302.75</b>	<b>186031.78</b>	<b>154158.91</b>	<b>18609.94</b>	<b>65972.02</b>

São identificáveis, nas  $\Delta V$  e MDTs, as ocorrências de realimentação artificial, pois caracterizam-se por uma diminuição de volume no setor C e aumento no setor D (2003) e E (2004-2007) (Fig. 41). No caso do setor C ocorre no período de Mar03- Jun03 a remoção de 16187 m<sup>3</sup> (tabela 5). No entanto a  $\Delta V$  é de -11578 m<sup>3</sup> (tabela 16), existindo um ganho de 4608.48 m<sup>3</sup> que resulta de uma acreção após a finalização da dragagem até à campanha de Jun-03. Por outro lado, no setor D, nesse período embora com uma  $\Delta V$  positiva (2841.12 m<sup>3</sup>) possui uma perda de 13346



m<sup>3</sup> em relação ao que entrou no sistema artificialmente, confirmando a informação já antes referida de que o sedimento não fica retido neste setor por Prata (2008). Seguindo o mesmo raciocínio apresentado para 2003, no setor C no período entre Abr04-Jun04 existe novamente a acreção de 11608 m<sup>3</sup>, uma vez que foram dragados 15217 m<sup>3</sup> (tabela 5) e a  $\Delta V$  é de -3609.41 m<sup>3</sup> (tabela 16), devido à acalmia marítima existente entre Mai-04 e Jun-04 (sem qualquer registo de temporais), contrariando a tendência dos meses anteriores de erosão provocada pela forte agitação marítima (um valor superior a 4 registos diários de temporais a partir de Set-03, uma vez que não se possui dados de Nov-03 e Dez-03). O setor E por sua vez em Jun-04, após a realimentação beneficia da retenção de 7173 m<sup>3</sup> além do sedimento que entrou artificialmente no setor, uma vez que entrou no sistema 15217 m<sup>3</sup> e o setor reteve 22390.2 m<sup>3</sup>, justificando a escolha da transposição de sedimento para este setor e não para o setor D (que não retém o volume depositado artificialmente). Embora em 2005, 2006 e 2007 também tenham sido realizadas realimentações artificiais entre estes setores, não se possui campanhas suficientemente próximas que permitam quantificar corretamente o efeito das mesmas. Infere-se que em 2005 no período entre Mai-05 e Dez-05 a perda de sedimentos no setor C, e ganho no setor E poderá estar diretamente ligada a estas ações de mitigação. É possível quantificar que ao longo dos oito anos de monitorização, o setor E teve um aumento de volume na ordem dos 75549 m<sup>3</sup>, tendo recebido cerca de 54610 m<sup>3</sup> proveniente de realimentações artificiais, cerca de 72% do ganho registado deste setor.



**Figura 41 – MDTs dos setores C e E antes (26mar04) e depois (17jun04) das operações de realimentação artificial em 2004**

De uma forma mais pormenorizada na Figura 42 e correspondente tabela 17 apresentam-se as  $\Delta V$  sazonais (entre período de final de Inverno e Verão marítimo) com vista a analisar a influência do regime de agitação marítima na alteração do volume de praia.

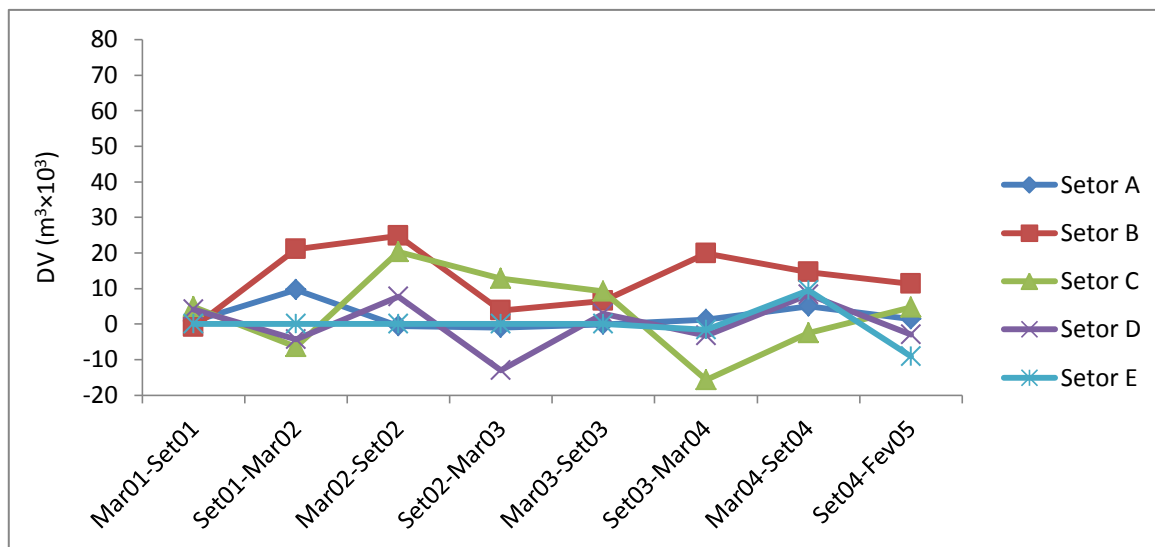


Figura 42 –  $\Delta V$  entre Invernos e Verões marítimos

Tabela 17 -  $\Delta V$  ( $m^3$ ) entre Invernos e Verões consecutivos

	Sector A	Sector B	Sector C	Sector D	Sector E
Mar01-Set01	775.49	-887.11	4856.24	4153.71	-
Set01-Mar02	9683.54	21016.50	-6442.56	-4255.49	-
Mar02-Set02	-616.39	24773.59	20250.08	7649.41	-
Set02-Mar03	-1001.98	3736.91	12835.40	-13069.5	-
Mar03-Set03	-72.61	6479.43	9140.26	2841.44	-
Set03-Mar04	1298.51	19858.79	-15774.9	-3259.78	-1662.43
Mar04-Set04	4914.59	14576.89	-2491.63	8333.67	9526.64
Set04-Fev05	1337.84	11220.71	4702.50	-2977.97	-9179.26

Os setores A e B têm tendência para uma  $\Delta V$  sazonal positiva tanto durante os Verões como nos Invernos marítimos, após a construção do quebra-mar. Esta  $\Delta V$  é máxima durante a construção ou após a sua finalização (Out01-Set02) devido à presença do esporão construtivo que reteve toda a deriva litoral N - S. Verifica-se que o comportamento dos setores A e B são geralmente idênticos, o que pode significar que os processos que atuam nos dois setores são os mesmos. Por exemplo quando o setor A regista a sua  $\Delta V$  negativa máxima, -1001.98  $m^3$  (tabela 17) o setor B regista o seu ganho mínimo, 3736.91  $m^3$  (tabela 17) na série analisada, aumentando de seguida esta variação em ambos.

O setor C tal como nos setores A e B regista uma forte variação positiva no primeiro Verão após a construção, seguindo-se crescimentos cada vez mais pequenos, chegando a acusar perdas relativas na fase final desta análise, como é o caso do Inverno marítimo de 2003/2004 em que o setor C apresenta uma perda de -15774.9  $m^3$  (tabela 17). De referir que aquando da diminuição de  $\Delta V$  nos setores A e B (Set02-Mar03), o setor C também possui uma diminuição, mas não tão acentuada, apresentando uma  $\Delta V$  superior ao registado nos setores A e B. Isto pode indicar que a causa para a

diminuição da  $\Delta V$  nos setores A e B sejam trocas transversais, que por sua vez reforçaram a corrente de deriva litoral N-S induzindo transporte para a zona de difração do quebra-mar.

O setor D apresenta uma grande variabilidade no que diz respeito à  $\Delta V$ . Efetivamente este setor apresenta variações positivas no período de Verão marítimo e negativas durante o Inverno, sendo visível que geralmente perde mais do que o que ganha, daí ser classificado como um setor com déficit sedimentar. Este setor apresenta a sua variação negativa máxima no Inverno seguinte à conclusão da obra (Ser02-Mar03). No que diz respeito ao setor E, não é possível fazer uma análise pois não possui praticamente dados na série temporal analisada neste caso (2001 a 2004).

Na Figura 43 e correspondente tabela 18 são apresentadas as  $\Delta V$  anuais, de forma a compreender o comportamento de cada setor anualmente uma vez que a média anual referida anteriormente para cada um dos setores (A: +6300 m<sup>3</sup>/ano; B: +16911 m<sup>3</sup>/ano; C: +14014 m<sup>3</sup>/ano; D: +1691 m<sup>3</sup>/ano; E: +8247 m<sup>3</sup>/ano) nem sempre é uma boa representação da realidade.

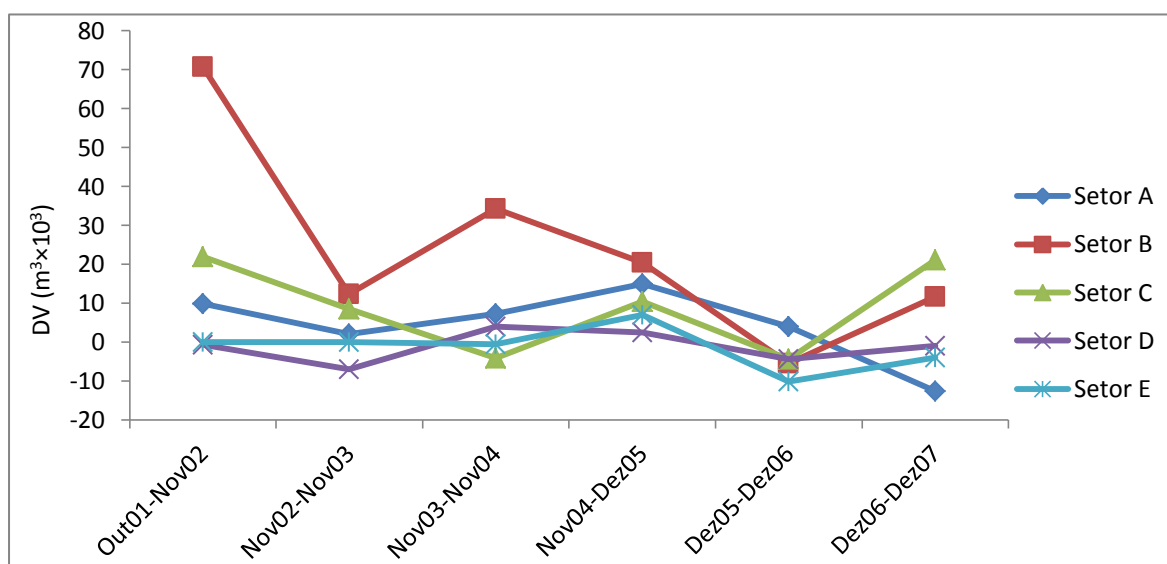


Figura 43 –  $\Delta V$  anual (Período intermédio de Inverno marítimo)

Tabela 18 - Balanço sedimentar anual

<i>Períodos homólogos (<math>\Delta V</math> em m<sup>3</sup>)</i>					
<b>Final de Inverno marítimo</b>	<b>Setor A</b>	<b>Setor B</b>	<b>Setor C</b>	<b>Setor D</b>	<b>Setor E</b>
<b>Out01-Nov02</b>	9830.99	70635.10	21883.8	-645.29	-
<b>Nov02-Nov03</b>	2047.35	12277.14	8470.09	-6962.47	-
<b>Nov03-Nov04</b>	7265.36	34262.79	-4088.38	3967.74	-541.64
<b>Nov04-Dez05</b>	14977.32	20445.75	10464.06	2410.14	7011.32
<b>Dez05-Dez06</b>	4040.34	-5430.04	-4406.36	-4418.98	-10071.47
<b>Dez06-Dez07</b>	-12525.40	11620.66	21139.93	-992.50	-3975.01
<b>Extremos temporais</b>					
<b>Out11-Out01</b>	67590.39	194158.3	155208.2	22165.61	65972.02

Como se pode observar na Figura 43 na zona N da Praia da Aguda (setores A, B e C) as variações positivas de volume mais elevadas registaram-se no primeiro ano (entre o início da

construção e Novembro seguinte) cerca de 105350 m<sup>3</sup> (tabela 18). No segundo ano (Nov02-Nov03) estes setores mantêm uma variação positiva. No entanto, são menos significativos do que os registados no primeiro ano (22794.58 m<sup>3</sup>). Analogamente, nos primeiros dois anos o setor D registou uma variação negativa, resultante da retenção dos sedimentos da deriva N-S a N do quebra-mar e do elevado número de registos de temporais, mais de 20 registos diários (tabela 10) com persistência superior a dois dias (tabela 11).

No terceiro ano o setor C registou um balanço negativo, ao contrário do que ocorreu nos restantes setores em que houve um acréscimo de volume. Durante este ano (2003-2004), praticamente todos os setores registaram aumento de volume, uma vez que o clima de agitação marítima durante este período foi relativamente calmo ( $\approx 12$  registos diários de temporais) (tabela 10), com uma persistência de pouco mais de um dia (tabela 11), também a realimentação efetuada durante este ano terá contribuído para este comportamento. O setor E registou uma pequena diminuição de volume, enquanto o setor C pela primeira vez após a construção do quebra-mar possui um balanço sedimentar negativo, devido à perda de volume registada no final do ano 2003 e início de 2004 (tabela 16).

A partir de Nov-04 o setor B começa a ter ganhos cada vez menores, chegando a ter perda de volume de 2005 a 2006, isto porque o setor a barlar do quebra-mar começa a ficar saturado e pequenas variações no clima de agitação marítima são suficientes para induzirem um perda de sedimentos. Ao longo de todo o ano de 2006 ocorreram 25 registos diários de temporais, um valor que provavelmente foi maior, pois não se possui dados de Fev-06, com uma persistência média de dois dias (tabela 11). Esta forte agitação marítima fez com que a maioria dos setores tivesse um balanço sedimentar negativo neste ano, exceto o setor A, que possivelmente beneficiou de uma inversão da deriva litoral, embora não tenha ganho o que os outros setores perderam, o que implica que também tenham existido trocas transversais. Ainda em 2004 - 2005 todos os setores registam um aumento de volume, uma vez que a capacidade de retenção a N começa a ficar saturada, havendo uma reposição gradual de sedimentos na corrente de deriva N-S, assim como a praia não foi afetada por um regime de temporais muito intenso ( $\approx 17$  registos), embora com uma persistência relativamente elevada ( $\approx 3$  dias). Ainda neste caso o setor E beneficia também das realimentações efetuadas durante este ano.

Por último, de 2006 a 2007, os setores B e C recuperam parte do valor sedimentar perdido, apresentando um balanço positivo. O setor A, analogamente ao que se observa no setor B e C, tem um balanço sedimentar negativo neste período. Os setores D e E embora continuem a perder sedimento, como no ano anterior, esta perda não é tão elevada, o que significa que estes setores continuam a não conseguir reter o sedimento sendo facilmente afetados pelo regime de agitação.

## Capítulo 5

### Considerações finais

Ao longo deste trabalho foram apresentados e discutidos alguns aspetos relativos à geomorfologia e morfodinâmica da zona adjacente ao quebra-mar da Aguda, pretende-se agora resumir algumas das principais conclusões deste estudo.

De acordo com os objetivos estabelecidos foram analisados os volumes da praia emersa, assim como, os parâmetros relacionados com a agitação marítima local. Da análise geomorfológica verificou-se que com a construção do quebra-mar podem considerar-se duas etapas distintas na evolução de cada setor da praia. Inicialmente (2001-2003) existe um aumento de volume dos setores a N do quebra-mar (A, B e C) e um déficit nos setores a S (D e E). Com o intuito de diminuir a erosão registada a S, foram feitas realimentações artificiais a partir das zonas com elevada capacidade de retenção de sedimentos (setor C), realimentações essas que não tiveram efeito imediato no setor D (2003). É possível ordenar os setores de acordo com a capacidade de retenção de sedimentos que cada um evidenciou. O setor B mostrou uma maior capacidade de retenção, segue-se os setores C e A, que beneficiaram diretamente da construção do quebra-mar, o setor E beneficiou das realimentações artificiais; o setor D foi o que menos beneficiou com a retenção de sedimentos sendo também o mais fustigado por eventos de agitação mais energéticos. Neste sentido, conclui-se que a construção do quebra-mar e medidas de mitigação, entretanto tomadas, mostraram-se positivas para as praias adjacentes. Contudo, verifica-se que por um lado a saturação do sistema a N do quebra-mar e as correntes que se geram a S do mesmo (associadas a processos de inversão de deriva aquando de temporais do quadrante SW ou mesmo correntes induzidas por processos de difração) induzem transporte sedimentar significativo para a zona interior do quebra-mar, originando um assoreamento da baía a ele associada. Esse processo, com carácter sazonal, dificulta o acesso a barcos de pesca. A ausência de um programa regular de levantamento topográfico a partir de 2006 e inexistência de dados entre 2008 e 2011 condicionou uma correta análise da evolução da praia durante este período de forma a compreender os processos que induziram o acentuado aumento de volume presentemente existente. No que diz respeito à análise de volumes por cotas verifica-se uma diferença de comportamento entre os diferentes setores. Todavia, atualmente a zona *backshore* tem um volume superior à do *foreshore*, em todos os setores, o que indica que a praia é mais robusta e possui uma maior capacidade de resistência a eventos de temporal.

Analisando os dados de agitação marítima foi possível observar que as variações volumétricas da praia são naturalmente influenciadas pelo clima de agitação.

De acordo com a análise dos fenómenos de alteração da propagação da ondulação em função dos dados disponíveis, é possível observar que a existência de um obstáculo (quebra-mar) à propagação da ondulação resultou na formação de uma baía, zona de sombra, comumente

designada por zona de águas calmas. A formação desta baía que, na realidade, se deve à difração da ondulação, que induz uma alteração da direção da ondulação, origina também uma redução da altura de onda relativamente à que ocorre na zona de rebentação quando não existe qualquer obstáculo. O efeito de difração aumenta à medida que a onda se desloca para o interior da zona de sombra e à medida que se afasta do ponto de difração. Conclui-se que esta zona possui condições de agitação marítima mais calmas possibilitando a deposição de sedimentos. Este processo ocorre para a direção predominante da ondulação incidente neste local (NW) desde que exista disponibilidade sedimentar. Para a ondulação proveniente do quadrante SW esta zona torna-se mais exposta, embora neste caso as correntes de deriva litoral induzidas por essa direção da ondulação possam igualmente induzir transporte sedimentar para a zona da baía. Efetivamente para a ondulação incidente mais frequente (NW, W) a obra mostra-se eficiente na criação de uma zona protegida que pode facilitar a entrada dos barcos de pesca. Durante tempestades com ondulação dos quadrantes S e SW esta estrutura não é tão eficiente na criação de condições favoráveis à entrada dos barcos de pesca. Fora da zona de sombra do quebra-mar os principais fenómenos que afetam a alteração da propagação da ondulação são o empolamento e refração, sendo que o primeiro revela maior importância nesta alteração, uma vez que induz num aumento da altura de onda à medida que esta se desloca para águas pouco profundas. Dos fenómenos de rebentação e espraiamento, foi possível verificar que o tipo de rebentação na Praia da Aguda é progressiva, e que o quebra-mar é galgado pelo espraiamento da ondulação.

Da análise geomorfológica e morfodinâmica conclui-se que a intervenção realizada nesta zona foi positiva para o setor adjacente à mesma, embora a formação do tombolo tenha dificultado a retoma da deriva litoral nos setores mais a S, assim como condicionado, em parte, o fácil acesso aos barcos de pesca por motivos de assoreamento. Considera-se ainda que este tipo de estudos assume um importante papel no que diz respeito à tomada de decisões no que se refere ao planeamento e ordenamento das zonas costeiras.

Como sugestão para um futuro desenvolvimento deste trabalho, seria importante a retoma de um programa de monitorização topográfica incluindo também a componente batimétrica, na zona de estudo, de forma a verificar se a acreção registada nos últimos anos em toda a extensão da praia terá continuidade no tempo. Seria também importante o acompanhamento das operações de realimentação artificial que entretanto forem realizadas, de forma a compreender os impactos que as mesmas possam representar nos setores de praia adjacentes.

Seria ainda importante um estudo multidisciplinar nesta região, fazendo a relação entre as alterações geomorfológicas e as condições de agitação marítima registadas na zona de sombra do quebra-mar, e também nos setores adjacentes, com a biologia marinha do local, um assunto vastamente estudado nesta região, mas ainda não complementado com o fator geomorfológico.

Ainda com o objetivo de complementar o assunto tratado seria importante realizar uma abordagem em termos da análise custo/benefício dos vários impactos associados à obra uma vez que este tipo de intervenções para serem eficazes não pode fazer grandes cedências a favor da estética e em prol dos valores naturais. Por outro lado, estas estruturas de engenharia costeira podem trazer mais-valias em relação ao aumento da biodiversidade (recifes artificiais). Dentro desta análise será ainda importante contabilizar os custos associados às sucessivas realimentações artificiais, que não foram

previstas inicialmente e considerar possíveis impactes que possam resultar de pequenas alterações que possam ser efetuadas, à atual configuração desta estrutura, e que possam contribuir para que esta tenha um melhor desempenho.





## Referências bibliográficas

ANCORIM. “Panorama das soluções soft de proteção costeira”, <[http://ancorim.aquitaine.fr/IMG/pdf/2\\_Outil2\\_56P\\_PO.pdf](http://ancorim.aquitaine.fr/IMG/pdf/2_Outil2_56P_PO.pdf)>. Visualizado a 31 de Julho de 2012.

APRH. (2007a). “Glossário das Zonas Costeiras”, <<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/quebra-mar.html>>. Visualizado a 24 de Maio de 2012.

APRH (2007b). “Glossário das Zonas Costeiras”, <<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/rebentacao.html>>. Visualizado a 15 de Novembro de 2012.

APRH (2007c). “Glossário das Zonas Costeiras”, <<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/facedapraia.html>> Visualizado a 15 de Novembro de 2012.

Araújo, M. (1991). *Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto*. Dissertação apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto para a obtenção do grau de doutora em Geografia Física, Porto, 534 pp.

Araújo, M. (2008). Depósitos do Pleistocénico Superior e do Holocénico na Plataforma Litoral da Região do Porto: a Morfologia das Plataformas de Erosão Marinha e a Tectónica Recente. *Estudo do Quaternário*, 5, 17 – 30.

Baptista, P. (2006). *O Sistema de Posicionamento Global Aplicado ao Estudo de Litorais Arenosos*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de doutor em Geociências, Aveiro, 329 pp;

Baptista P., Bastos L., Cunha T., Bernardes C., Dias J. (2008). Aplicação de metodologias de monitorização GPS em litorais arenosos: Geração de modelos de elevação do terreno. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 8, 9 - 23.

Baptista, P., Bastos, L., Veloso-Gomes, F. (2004). Impacte Morfodinâmico de uma Obra de Protecção Costeira: O Quebra-mar da Aguda. *Actas da 4ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica. Figueira da Foz*, 27-28.

Baptista, P., Cunha, T, R., Matias, A., Gama, C., Bernardes, C., Ferreira, Ó. (2011). New land-based method for surveying sandy shores and extracting DEMs: the INSHORE system, *Environmental Monitoring and Assessment*, 182, 1-4: 243 - 257.

Bowen, A., Inman, D. (1966). Budget of litoral sands in the vicinity of point Arguello, California. *Technical memorandum*, USACE, 19, 45 pp.

Carvalho, J.J., Barceló, J.P. (1966). A agitação marítima na costa Oeste de Portugal Metropolitano - Contribuição para o seu estudo. Ministério das Obras Públicas, LNEC, Memória 290, Lisboa.

Chaminé, H., Pereira, L., Fonseca, P., Noronha, F., Sousa, M. (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto – Albergaria - a- Velha – Coimbra – Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Lab. Xeológicos de Laxe Coruña*, 28, 37 – 78.

Coelho, C. (2005). *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Dissertação apresentada à universidade de Aveiro para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Civil, Aveiro, 404 pp.

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J. (2001). “Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa”, <[ftp://ftp.mohid.com/Fortaleza\\_CD/Bibliografia/Waves/clima\\_agmar.pdf](ftp://ftp.mohid.com/Fortaleza_CD/Bibliografia/Waves/clima_agmar.pdf)>.

Dias, Ferreira & Pereira. (1994). “Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré”, <[http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb\\_EspinhoNazare.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_EspinhoNazare.html)>.

Dias, J. (1993). “Estudo de Avaliação da Situação Ambiental e Proposta de Medidas de Salvaguarda para a Faixa Costeira Portuguesa (Geologia Costeira)”, <[http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Ambicost/2\\_Ambicost\\_ErCost.pdf](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/ebooks/Ambicost/2_Ambicost_ErCost.pdf)>.

Dias, J. M. (2011). “Marés”, Apontamentos teóricos de Oceanografia Física Costeira, Universidade de Aveiro.

Diogo, M. (2004). *Evolução da linha de costa da Praia da Vagueira* – Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de mestre em Ciências das zonas costeiras, Aveiro, 198 pp.

Ferreira, O. (1993). *Caracterização dos principais factores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego* – Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, Lisboa.

Ferreira, O. (1998). *Morfodinâmica de Praias Expostas: Aplicação ao Sector Costeiro Aveiro-Cabo Mondego*. Dissertação apresentada Universidade do Algarve para obtenção do grau de Doutor em Geologia Costeira, 337 pp.

Granja, H., Bastos, L., Pinho, J., Gonçalves, J., Henriques, R., Bio, A., Magalhães, A. (2011). Small harbours risks: lowering for fishery and increasing erosion. The case of portinho da Aguda (NW Portugal). *LITTORAL 2010: Adapting to Climate Change at the Coast: Leadership, Innovation and Investmen*, 09003, EDP Sciences, 2011, 8 pp.

IH. (2012). “Previsão operacional”, <<http://www.hidrografico.pt/previsao-operacional.php>>. Visualizado em 11 de Abril de 2012.

IHRH. (1988). *Estudo Prévio das Obras de Protecção da Praia da Aguda*. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

IHRH. (1999). *Quebramar destacado da Aguda - Estudo Prévio*. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 28 pp.

IHRH. (2000). *Quebramar destacado da Aguda - Projecto de Concepção*. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

IHRH. (2010). “Estudo de Vulnerabilidade e Riscos às Acções Diretas e Indiretas do Mar sobre a Zona Costeira – 1º Fase”, <<http://www.polislitoral norte.pt/doc.php?co=173>>. Visualizado em 20 de Novembro de 2012.

INAG. (2002). *Quebramar Destacado da Praia da Aguda*. Instituto da água, Lisboa.

Linhares, E. (2006). *Avaliação do potencial impacto do quebra-mar destacado na diversidade faunística associada aos recifes de Sabellaria alveolata (L.) da praia da Aguda*. Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Mar-Recursos Marinhos, especialidade Ecologia Marinha, 79 pp.

Morais, C. C., Abecassis, F. (1978). Storm surge effects at Leixões. Memória nº 503, LNEC, 23 pp.

Oliveira, C., Araújo, M. (2009). As praias entre a Foz do Douro e a Granja: algumas reflexões sobre a erosão costeira. Caderno 8 Curso de Doutoramento em Geografia, FLUP, 213-228.

Oliveira, H. (2004). “Modelos digitais de terreno”, <[http://www.estig.ipbeja.pt/~hjmo/MDT/mdt\\_03.pdf](http://www.estig.ipbeja.pt/~hjmo/MDT/mdt_03.pdf)>. Visualizado em 11 de Julho de 2012.

Oliveira, I.M., Valle, A.F., Miranda, F. (1982). Litoral problems in the portuguese west coast. *Coastal Engineering Proceedings*, III, 1951-1969.

Pires, H., Pessanha, L. (1986). Estima da distribuição da probabilidade dos valores extremos utilizando séries climatológicas curtas. *Revista do JNMG*, 24 pp.

PORDATA. (2011). “Municípios”, <<http://www.pordata.pt/Municipios>>. Visualizado a 6 de Outubro de 2012.

Prata, J. (2008). *Impactos e Colonização Biológica de uma Estrutura de Defesa Costeira – o Quebramar da Aguda*. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para a obtenção do grau de doutor em Ciências da Engenharia, Porto, 288 pp.

Reis, E. (2010). *Evolução da linha de costa e defesa das zonas costeiras – Análise custo/benefício*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de mestre em engenharia Civil, Aveiro, 122 pp.

Rosati, J. D., Kraus, N. C. (1999). Advances in coastal sediment budget methodology – with on inlets. *Shore and Beach*, 67, 56-65.

Rosati, J.D. (2005). Concepts in Sediment Budgets. *Journal of Coastal Research*, 21, 307-322.

Sancho, F (2002). “Processos fluviais costeiros”, <[http://www.ci.uc.pt/mhidro/edicoes\\_antigas/PFC\\_acetatos\\_10c.pdf](http://www.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/PFC_acetatos_10c.pdf)>. Visualizado em 15 Novembro 2012.

Santos, P. (2004). *Avaliação do Impacto do Quebramar Destacado na Comunidade Intertidal da Praia da Aguda, no Norte de Portugal*. Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar para a obtenção do grau de Mestre em Ciências do Mar – Recursos Marinhos especialidade Ecologia Marinha, Porto, 55 pp.

Taborda, R., Dias, J. A. (1992). Análise da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica durante os temporais de Fevereiro/Março de 1978 e Dezembro de 1981 – *GEONOVAS*, nº Especial 1, A Geologia e o Ambiente.